

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Charpyho kladivo pro zkoušení plastových vzorků

Pendulum Impact tester for plastics samples

Student:

Bc. Petr Kramný

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.

Ostrava 2014

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Kramný**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení
Téma: **Charpyho kladivo pro zkoušení plastových vzorků**
Pendulum Impact Tester for Plastics Samples

Zásady pro vypracování:

Navrhněte Charpyho kladivo pro zkoušení plastových vzorků. Maximální nárazová rychlost bude 3,8 m.s.
1. Tolerance rychlosti je $\pm 10\%$. Maximální rázová energie bude 50 J. Navržené zařízení bude s automatickou brzdou kladiva a také s jeho automatickým zdvihem. Doplnkovým zařízením bude automatický zakladač vzorků.

Vypracujte:

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrhovaného zařízení se všemi nezbytnými výpočty.
2. Konstrukční návrh Charpyho kladiva.
3. Pevnostní kontrolu důležitých uzlů.
4. Detailní výrobní výkres vybrané součásti.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910. *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
Leinveber, J., Řasa, J., Vávra, P. *Strojnické tabulky*. 3. vyd. Praha: Scientia, 1999, 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů*. 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8.
Literární rešerše zpracovaná v rámci Diplomového projektu.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19.5. 2014

..... 12/

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 19.5.2014


.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Petr Kramný

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Na Rybníčku 712/20, 746 01, Opava

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Kramný, P. Charpyho kladivo pro zkoušení plastových vzorků. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní, VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2014, 72 s. Diplomová Práce, vedoucí Učeň, O.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem instrumentovaného Charpyho kladiva pro zkoušení plastových vzorků s rázovou energií 25 [J] a 50 [J]. Je zde uvedena historie zkoušení vrubové houževnatosti a také postup návrhu zkušebního stroje dle ISO 13 802 a ISO 179-2.

Konstrukční část diplomové práce se zabývá konstrukčním řešením instrumentovaného Charpyho kladivo dle normy ISO 13802 a ISO 179-2 a také samotných kyvadel s rázovou energií 25 a 50 [J]. Je zde uveden návrh důležitých konstrukčních uzlů Charpyho kladiva což je: pohon, hřídele, ložiska atd.

Poslední část se zabývá provozem stroje a bezpečností. Nechybí návod k výměně kyvadel a postup při zahájení samotné zkoušky rázem v ohybu.

ANOTATION OF MASTER'S THESIS

Kramný, P. Pendulum Impact tester for plastics samples. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2014, 72 p. Master's Thesis, head: Učeň, O.

This thesis describes the design of the instrumented Charpy pendulum for testing plastic samples with impact energy of 25 and 50 [J]. There is outline of the history of testing the impact strength and design process of the testing machine according to ISO 13 802 and ISO 179-2.

The design part of the thesis is engaged construction design of the instrumented Charpy pendulum according to ISO 13802 ISO 179-2 and also by the impact energy of the pendulum with 25 and 50 [J]. It shows the design of important design parts Charpy pendulum machine which is: drive, shafts, bearings, etc.

The last part is engaged operation of machinery and safety. There are also instructions for replacing the pendulums and the procedure at the start of the actual impact Charpy test.

Obsah

1. Důvod provádění zkoušek mechanických vlastností materiálů	9
2. Rozdělení zkoušek vlastností materiálů	12
2.1 Nedestruktivní zkoušky materiálu.....	12
2.1.1 Kapilární zkouška.....	12
2.1.2 Elektromagnetická zkouška.....	13
2.1.3 Zkouška elektroinduktivní.....	13
2.1.4 Rentgenoskopické zkoušky	13
2.1.5 Zkouška ultrazvukem	13
2.2 Destruktivní zkoušky mechanických vlastností	13
2.2.1 Zkouška tvrdosti.....	15
2.2.2 Statické zkoušky pevnosti	15
2.2.3 Dynamické zkoušky pevnosti.....	15
3. Instrumentovaná zkouška rázem v ohybu metodou Charpy dle ČSN ISO 179-2	17
3.1 Podstata zkoušky	19
3.2 Zkušební zařízení.....	19
3.2.1 Základní části zkušebního stroje.....	19
3.3 Postup zkoušky.....	26
3.4 Historický vývoj zkoušení houževnatosti materiálů	28
4. Konstrukční návrh a pevnostní kontrola charpyho kladiva.....	32
4.1 Návrh kyvadla 50 [J].....	38
4.1.1 Určení délky ramene L_1 :	38
4.1.2 Výpočet doby kmitu T_P :	38
4.1.3 Výpočet teoretické hmotnosti kyvadla	39
4.1.4 Výpočet hmotnosti kyvadla.....	40

4.2 Návrh kyvadla 25 [J]	42
4.2.1 Určení délky ramene L_I :	42
4.2.2 Výpočet doby kmitu T_P :	42
4.2.3 Výpočet teoretické hmotnosti kyvadla	42
4.2.4 Výpočet hmotnosti kyvadla	43
4.3 Výpočet třecího momentu ložisek	44
4.3.1 Moment valivého tření M_{tr}	44
4.3.2 Moment smykového tření	45
4.3.3 Moment tření v olej. lázni apod.	45
4.3.4 Celkový moment tření	46
4.4 Konstrukční návrh svěrného spoje kyvadla	47
4.4.1 Výpočet svěrné síly potřebné na jeden šroub	47
4.4.2 Výpočet maximálního tlaku	47
4.5 Volba a návrh šroubu svěrného spoje	48
4.5.1 Návrh průměru šroubu d_3	48
4.5.2 Pevnostní kontrola šroubu	49
4.5.3 Určení velikosti utahovacího momentu pro vyvození osově síly F_{1s}	51
4.6 Návrh pohonu	52
4.6.1 Návrh průměru vstupní hřídele z namáhání na krut	53
4.6.2 Výpočet pera pro vstupní hřídel	53
4.6.3 Návrh průměru výstupní hřídele z namáhání na krut	54
4.6.4 Výpočet pera pro výstupní hřídel	54
5. MKP analýza zatížení bříty	55
5.1 Výpočtový model	56
5.2 Výpočet nárazu bříty do vzorku	58

5.3 Výsledek MKP analýzy.....	60
6. Způsob vyjmutí vzorku po zkoušce	61
6.1 Pásový dopravník.....	61
6.2 Pohon dvířek	63
6.3 Úchop vzorků.....	65
7. Ovládání stroje a jeho bezpečné používání	67
7.1 Ovládací panel stroje.....	67
7.2 Elektrický zámek dvířek.....	67
7.3 Bezpečnostní koncový vypínač elektromagnetu	68
7.4 Postup při výměně kyvadla a nastavení stroje	68
8. Provedení zkoušky	69
9. Závěr.....	70
10 Seznam použitých pramenů	71
11 Seznam příloh.....	72

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

D	vnější průměr ložiska	[mm]
D_d	průměr díry pro šroub M8	[mm]
E	potenciální energie kyvadla	[J]
E	modul pružnosti	[GPa]
E_k	kinetická energie	[J]
F_{1s}	svěrná síla potřebná na jeden šroub	[N]
F_1	síla působící jako protizávaží (hmotnost svěrného spoje nad osou otáčení x gravitační zrychlení)	[N]
F_2	síla nutná k vyvážení kyvadla	[N]
F_{25J}	skutečná síla působící v těžišti kyvadla	[N]
$F_{2\text{teor.}}$	teoretická síla	[N]
$F_{2\text{teor}25J}$	teoretická síla	[N]
F_{50J}	skutečná síla působící v těžišti kyvadla	[N]
F_r	radiální zatížení ložiska	[N]
F_z	síla v závitu	[N]
F_{Z1}	maximální přípustná síla v ose „Z”	[N]
$F_{Z\text{skut.}}$	síla v ose „Z” působící od dvířek	[N]
G_{rr}	proměnná závislá na typu ložiska, zatížení atd.	[1]
G_{sl}	proměnná závislá na typu ložiska, zatížení atd.	[1]
K_{ball}	konstanta pro ložiska s bodovým stykem	[1]
K_Z	geometrická konstanta typu ložiska	[1]

L_I	vzdálenost od osy rotace po bod nárazu do středu vzorku	[m]
L_H	délka kyvadla od středu otáčení po skutečné těžiště	[m]
L_P	teroretická délka kyvadla s teor. hmotností koncentrovanou v bodě se stejnou periodou oscilace jako skutečné kyvadlo	[m]
M	celkový třecí moment	[N·mm]
M_{drag}	třecí moment způsobený odporem brodění, hnětením, odstřikováním atd.	[N·mm]
M_{Hteor}	teoretický kroutící moment kyvadla k ose rotace	[N·m]
M_k	kroutící moment	[N.mm]
M_O	moment na klíči	[N·mm]
M_{Tr}	moment valivého tření	[N·mm]
M_{seal}	třecí moment těsnění	[N·mm]
$M_{skut.25J}$	skutečný největší kroutící moment působící na osu rotace	[N·m]
M_{sl}	moment smykového tření	[N·mm]
MT_M	moment odporu tření na dosedací ploše hlavy šroubu	[N·mm]
MT_z	moment odporu v závitech	[N·mm]
P	stoupání závitu	[mm]
R_1	geometrická konstanta pro moment valivého tření pro ložiskovou řadu 62	[1]
Re	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez jmenovité pevnosti	[MPa]
S	třecí plocha pod hlavou šroubu	[mm]
S_1	moment smykového tření pro lož. řadu 62	[1]

T_P	doba oscilace kyvadla	[s]
V_M	proměnná jako funkce výšky hladiny oleje podle diagramu	[1]
W_k	modul průřezu	[mm ³]
v_I	rychlost nárazu	[m·s ⁻¹]
b	šířka pera	[mm]
d	velký průměr závitu	[mm]
d_2	střední průměr závitu	[mm]
$d_{3\text{šroubu}}$	malý průměr závitu	[mm]
d_h	průměr hřídele	[mm]
d_l	vnitřní průměr ložiska	[mm]
d_m	střední průměr ložiska	[mm]
d_s	přibližný střední průměr stykové plochy hlavy šroubu	[mm]
d_{vst}	průměr hřídele	[mm]
d_{vst}	průměr vstupní hřídele	[mm]
$d_{výst}$	průměr výstupní hřídele	[mm]
f	součinitel tření	[1]
f_M	součinitel tření ve stykové ploše součásti (hlavy šroubu)	[1]
g	gravitační zrychlení země	[m·s ⁻²]
h	výška pera	[mm]
i	počet šroubů	[1]
i_{rw}	počet řad kuliček	[1]
ks	součinitel statické bezpečnosti	[1]
f_z	tření na závitu	[1]

l	délka náboje	[mm]
l_p	celková délka pera	[mm]
$m_{\text{dvířek}}$	hmotnost sestavy dvířek	[kg]
m_{teor}	teoretická hmotnost kyvadla	[kg]
m_{teor25}	hmotnost kyvadla	[kg]
$m_{\text{záv.}}$	hmotnost protizávaží	[kg]
n	otáčky	[min ⁻¹]
p	tlak svěrného spoje	[MPa]
p_D	maximální dovolený tlak svěrného spoje	[MPa]
p_D	maximální dovolený tlak	[MPa]
α	úhel profilu	[°]
α_0	výchozí úhel	[°]
α_1	úhel nárazu	[°]
β	koeficient	[1]
μ	poisonovo číslo	[1]
μ_{sl}	součinitel smykového tření	[1]
ν	kinematická viskozita maziva při provozní teplotě	[mm ² ·s ⁻¹]
ρ	hustota	[kg·m ⁻³]
σ_{RED}	redukované napětí	[MPa]
σ_t	tahové napětí	[MPa]
σ_{tD}	dovolené tahové napětí	[MPa]
σ_y	mez kluzu	[MPa]
τ_k	napětí v krutu	[MPa]

τ_D	dovolené napětí v krutu	[MPa]
φ'	redukovaný třecí úhel	[°]
ψ	úhel stoupání	[°]

1. Důvod provádění zkoušek mechanických vlastností materiálů

Mechanické vlastnosti materiálu jsou ty vlastnosti, které určují jeho vhodnost pro danou funkci a použití v praktické aplikaci. Poznáním a zvyšováním mechanických vlastností konstrukčních materiálů, dosahujeme jejich optimálního využití při návrhu a výrobě strojů a strojních zařízení.

Jednou z možností jak efektivněji využít konstrukční materiály, je jejich hlubší studování a zjištění jejich vlastností v náročných podmínkách. Dnešní vývoj techniky vyžaduje stále vyšší nároky na vlastnosti konstrukčních materiálů.

Tyto stále vyšší nároky a požadavky na kvalitnější a odolnější materiály musí být splněné za předpokladu zaručení bezpečnosti, životnosti a spolehlivosti vyráběných strojů a strojních zařízení. Jedná se především o leteckou, lodní a automobilovou dopravu, tlaková zařízení tepelné a jaderné energetiky, mostních konstrukcí, konstrukcí budov apod., tj. zařízení, u nichž selhání materiálu vede ke katastrofálním následkům spojených s ohrožením lidských životů.

I když u velkého množství katastrof, které se v minulosti odehrály, nebylo příčinou selhání materiálu, tak je možné uvést i případy havárií, které zapříčinil náhlý křehký nebo únavový lom materiálu stroje nebo konstrukce.

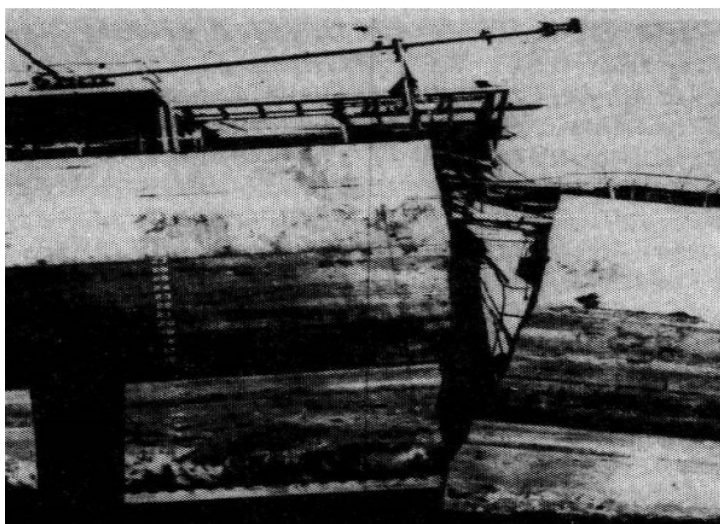
Tyto náhlé havárie konstrukcí se začaly vyskytovat ve světě na konci 19. století. Již v té době se objevují zprávy o katastrofálních lomech potrubí, plynojemů, nádrží a jiných zařízení. [1]

Mezi známé případy patří porušení nádrže v lednu roku 1919 v Bostonu, kde se náhle roztrhla nádrž naplněná $10,5 \cdot 10^6$ [l] melasy – několik lidí a koní se utopilo v melase, 40 lidí bylo zraněno a bylo poškozeno několik budov v sousedství i železniční trať. Po dlouholetém vyšetřování soud vynesl rozhodnutí, že havárie nastala vlivem přetížení. Za zmínku v tomto sporu stojí prohlášení vyšetřujícího soudce, který pověděl v komentáři k rozsudku: „...uprostřed bouřlivých polemických vědeckých diskusí jsem občas cítil, že jedině, čeho se při vyšetřování můžu chytit, je zjevný fakt, že alespoň polovina vědců se může mýlit.“ Tento výrok výstižně charakterizoval tehdejší stav poznatků vědců a inženýrů o křehkém porušování ocelových konstrukcí.

Na začátku druhé světové války, v době kdy se ocelové konstrukce začali spojovat svařením namísto dosud používaného nýtování, vzniklo v Evropě několik případů katastrofálních porušení mostů vyrobených z konstrukčních uhlíkových ocelí, které se vyráběly ve vzduchových konvertorech. Mosty se porušily náhlým lomem po velmi krátkém užívání a při nižším provozním zatížení než bylo dovoleno. Analýza materiálu odhalila, že se jedná o křehké lomy, které byly iniciovány z defektů ve svarech a většina materiálů měla při provozní teplotě nízkou vrubovou houževnatost.

Ačkoliv i při těchto častých výskytech křehkých lomů, byly konstrukce dimenzovány jen dle hodnoty meze statické pevnosti v tahu. Až po velkém počtu havárií svařovaných lodí během druhé světové války začali inženýři k tomuto problému přistupovat mnohem důkladněji.

Od listopadu roku 1942 do dubna roku 1946 se na 976-ti svařovaných námořních plavidlech USA objevilo 1442 vážných poškození trhlinami různých velikostí. Do konce roku 1949 došlo k havárii 11-ti lodí typu Liberty a 8 tankových lodí jejich úplným příčným rozlomením na dvě části.



Obr. 1 Loď Liberty [1]

Většina těchto lomů vycházela z konstrukčních vrubů a z defektů ve svarech. Konstrukčními úpravami nosných dílů trupu lodí a vsazením tzv. zastavovačů trhlin v kritických místech, se podstatně snížil výskyt křehkých lomů. Zkoušky materiálu lodí ukázaly, že kromě konstrukčních chyb byla jedním z hlavních faktorů, které přispěly k porušení i nízká kvalita použité oceli.

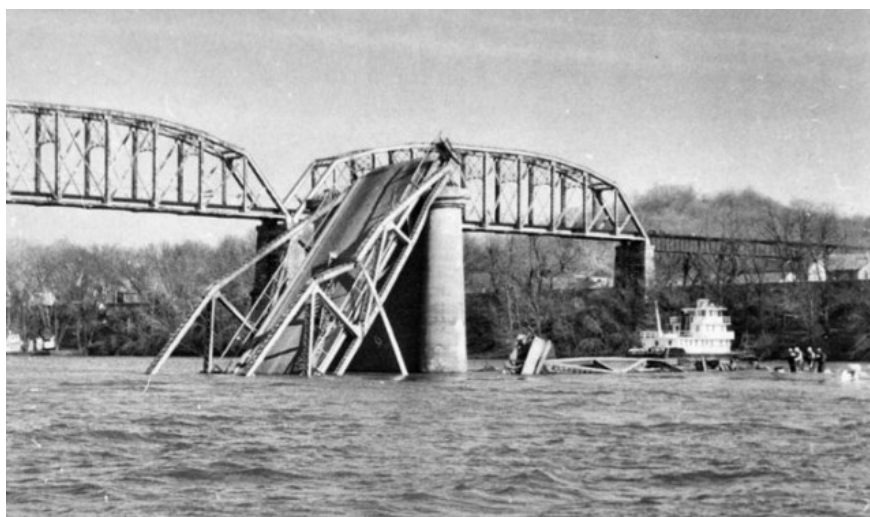
Zmíněné havárie a poškození lodí přinutily Americký úřad pro lodní dopravu v roce 1947 stanovit normy pro chemické složení oceli používaných na stavbu lodí. I když byly používány zastavovače trhlin a došlo ke konstrukčním zlepšením i k úpravě chemického složení ocelí na stavbu lodí, křehké lomy se v omezené míře vyskytovaly i nadále. V 50. letech se rozlomily dvě poměrně nové zcela svařované nákladní lodě a jeden tanker s podélným rámem, vyrobené z vylepšené oceli využitím nových konstrukčních filozofií a při zvýšené kvalitě svarů. I po roce 1960 se nadále vyskytovaly křehké lomy v různých částech lodí.

Dodnes nebyla značná část leteckých katastrof vysvětlena. I když se při konstruování letadel klade na výběr a kontrolu materiálu prvořadý důraz, vyskytují se i tady poruchy materiálové povahy. Dvě anglická letadla typu Comet v 50. letech havarovala při letu ve velkých výškách. Zjistilo se, že lomy vznikly z velmi malých únavových trhlin vycházejících z otvorů pro nýty v blízkosti trupu.

Ojedinělé nejsou i havárie parních turbín a rotorů generátorů, které vedly k hlubšímu poznání mechanismu křehkého porušení výrobcí i uživateli těchto zařízení.

Mezi známé případy porušení ocelových mostů je možné uvést porušení nosné konstrukce mostu Kings Bridge v Melbourne v r. 1962 křehkým lomem při teplotě 5°C.

K další velké katastrofě došlo 15. prosince 1967 při zřícení mostu Point Pleasant Bridge v Západní Virginii – tento most se zřítil bez předcházejících příznaků, přičemž zahynulo 50 lidí.



Obr. 2 Point Pleasant Bridge [2]

Časté poruchy materiálu vznikají i na dálkových plynovodech a ropovodech, které i když jsou umístěné pod zemským povrchem, mohou mít při poruše pro blízké okolí hrůzné následky.

Navzdory rozvoji nových zkušebních metod a velkému pokroku ve výzkumu mechanických vlastností, bude problém zvyšování odolnosti materiálů vůči mechanickému namáhání stále aktuální, jelikož podmínky při jeho namáhání se zpřísňují.

Při zvyšování pevnosti materiálů se snižuje hmotnost vyráběných zařízení, tím dosahujeme značných úspor energie a surovin. Ovšem růst pevnosti nezaručuje souběžný růst odolnosti proti křehkému porušení, spíše naopak. Z těchto důvodů se problematika optimálního využití materiálů musí řešit komplexně s použitím klasické i lomové mechaniky, fyzikální metalurgie, výpočetní techniky a moderních experimentálních metod.

Cílem studia mechanických vlastností materiálů je jejich stálé zlepšování a možnost poskytnout konstruktérovi kvantitativní údaje o chování materiálů v rozličných podmínkách namáhání v takové míře, aby se maximálně zabránilo poruchám zařízení vyvolaných selháním materiálu. [1]

2. Rozdělení zkoušek vlastností materiálů

Z hlediska působení síly na zkušební vzorek rozdělujeme zkoušky na destruktivní a nedestruktivní.

2.1 Nedestruktivní zkoušky materiálu

Slouží především ke zjišťování vad na povrchu materiálu a zjištění neviditelných vnitřních vad materiálu.

2.1.1 Kapilární zkouška

Používá se u materiálů nemagnetických, kdy zkoušený předmět natřeme nebo ponoříme na určitou dobu do indikační tekutiny, kterou je nejčastěji petrolej nebo fluorescenční kapalina. Potom jej opláchneme, osušíme a následně aplikujeme detekční látku (plavenou křidu). Poté vlivem vztlínání dojde k zobrazení trhlin na povrchu tělesa.

2.1.2 Elektromagnetická zkouška

Používá se pro detekování trhlin těsně pod povrchem součástek z feromagnetických materiálů magnetickou práškovou metodou. Trhliny těsně pod povrchem materiálu nebo na povrchu znesnadňují průchod magnetických siločar. Pokud následně polijeme zmagnetizované těleso detekční tekutinou, která je složena z oleje a feromagnetického prášku vytvoří se obraz trhliny.

2.1.3 Zkouška elektroinduktivní

Tato metoda je založena na sledování elektrické vodivosti v porovnání s etalonem.

2.1.4 Rentgenoskopické zkoušky

Jedná se o zkoušku prozařováním rtg zářením a gama zářením, která je založena na schopnosti krátkovlnného záření pronikat materiálem. Pokud je v tělese vnitřní vada, objeví se na vyvolaném snímku, jako tmavá vrstva na světlejším pozadí.

2.1.5 Zkouška ultrazvukem

Při této metodě používáme impulsní defektoskopy, které jsou tvořeny buď jednou (odrazová metoda) nebo dvěma sondami (průchodová metoda). Mezi nejrozšířenější patří metoda odrazová, během níž se krátkodobý ultrazvukový signál vysílá do zkoušeného tělesa, ve kterém se odráží od protilehlé stěny či možné vady a vrací se zpět do vysílače. [3]

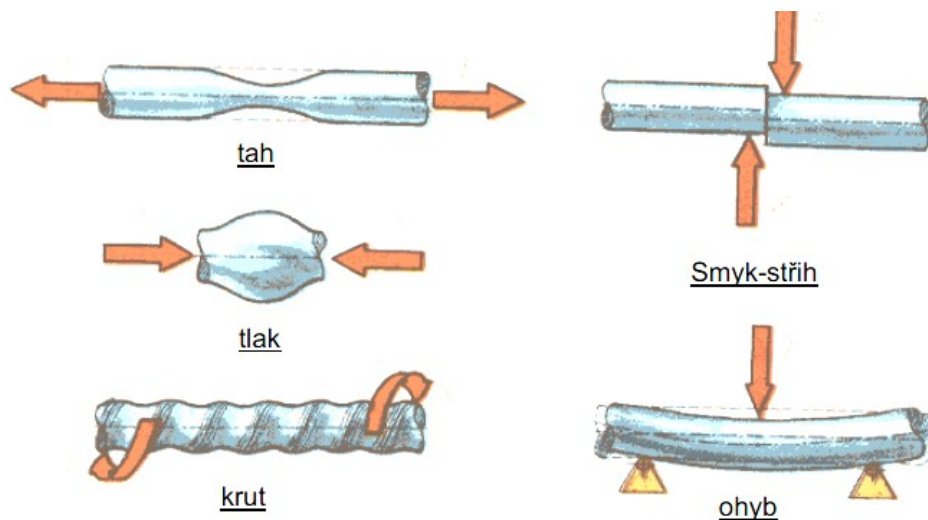
2.2 Destruktivní zkoušky mechanických vlastností

Destruktivní jsou takové zkoušky, při nichž dojde vlivem působení vnější síly k poškození či úplné destrukci zkušebního vzorku.

Mechanické vlastnosti

Během zpracování i použití jsou materiály vystaveny různorodému namáhání, jako je tah, tlak, krut, střih a ohyb. Tyto namáhání většinou nepůsobí samostatně, ale naopak působí současně jako kombinace dvou a více namáhání (např. tah a ohyb, nebo tah, ohyb a krut – viz. obr. 3). Aby jim materiál mohl odolávat, musí mít určité vlastnosti, jako jsou pevnost, tvrdost, pružnost, tvárnost aj.

Na mechanické vlastnosti materiálů má značný vliv také teplota. Při určitých teplotách se mění krystalická struktura materiálů a tím se mění i jejich mechanické vlastnosti. [3]



Obr. 3 Základní druhy namáhání [3]

Rozdělení destruktivních zkoušek

Zatížení	Krátkodobé	Dlouhodobé
Statické	Zkouška tahem	Zkouška tečení - Creepu
	Zkouška tlakem	
	Zkouška ohybem	
	Zkouška střihem	
	Zkouška krutem	
	Zkouška tvrdosti	
Dynamické	Zkoušky rázem v ohybu	Zkoušky vysokocyklové únavy
	Zkouška tvrdosti	
	Zkoušky nízkocyklové únavy	

Tab. 1 Rozdělení destruktivních zkoušek [1]

2.2.1 Zkouška tvrdosti

Tvrdost, tedy odpor, který klade materiál proti vnikání cizího tělesa má zejména u kovových materiálů velkou důležitost, jelikož ji můžeme ze všech mechanických vlastností zjistit nejrychleji, nejlevněji a to i na předmětech nejmenších rozměrů.

Dělí se na zkoušky:

- statické – HB, HV, HRB, HRC, Shore

- dynamické – Poldi kladívko, Shoreho skleroskop, duroskop a odrazové zkoušky

Dále se rozdělují zkoušky tvrdosti na vrypové, vnikací a odrazové.

Zkouška vrypová - se dnes používá pouze pro křehké a tvrdé materiály jako jsou např. sklo a porcelán.

Zkouška vnikací – je nejpoužívanější zkouškou tvrdosti materiálů. Během této zkoušky zatlačujeme do zkušebního tělesa velmi tvrdé těleso tvaru kuličky, kužele či jehlanu a velikost vzniklého vtisku je měřítkem tvrdosti.

2.2.2 Statické zkoušky pevnosti

Zkouška tahem (trhací)

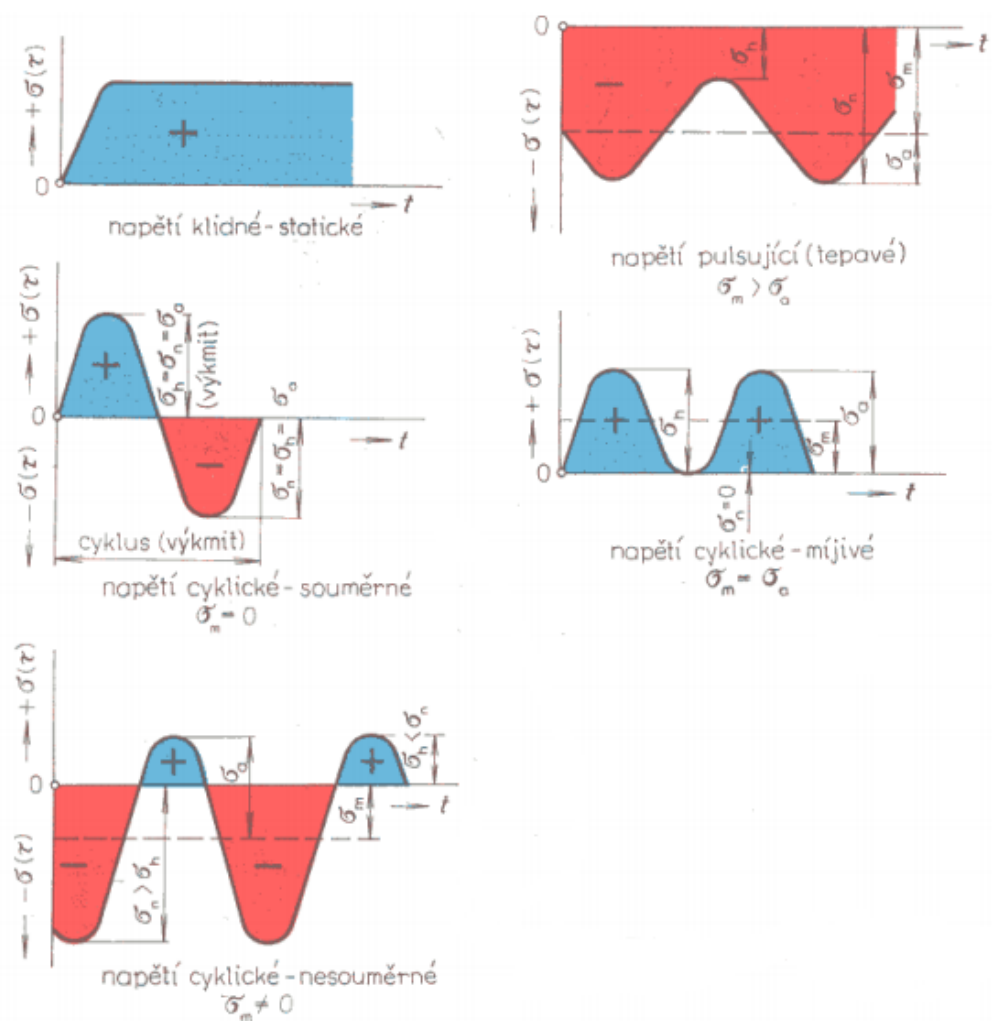
Jako příklad uvádím jednu z nejrozšířenějších statických zkoušek. Je nutná téměř u všech materiálů, jelikož z jejich výsledků získáváme některé základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. Zkoušky tahem se zpravidla nedělají přímo na vyrobené součásti, ale na zkušebních tyčích, jejichž tvary a rozměry jsou stanoveny dle norem (normalizovány).

U každé statické zkoušky vzniká v materiálu napětí, což je míra vnitřních sil, které vznikají působením sil vnějších. Číselná hodnota napětí se určí jako podíl síly a plochy, na níž síla působí. Rozeznáváme napětí normálové σ (tah, tlak, ohyb) a tečné τ (smykové) tj. Podíl síly a skutečné plochy průřezu v kterémkoliv okamžiku zkoušky se nazývá skutečné napětí σ .

2.2.3 Dynamické zkoušky pevnosti

Ve skutečnosti jsou většinou strojní součásti zatěžovány namáháním, jehož velikost a smysl se prudce, popřípadě cyklicky mění, viz. obr.4. Potřebné údaje o chování takto

namáhaného materiálu můžeme zjistit pouze dynamickými zkouškami. Při tomto druhu namáhání dochází často k náhlému porušení materiálu, i když zatěžující síla ještě nedosáhla statické pevnosti materiálu. [3]



Obr. 4 Základní způsoby namáhání [3]

Zkouška opětvným namáháním

Jedná se o zkoušky únavy materiálu. Během zatěžování tělesa se vyskytují poruchy mnohem dříve než odpovídá jeho statické pevnosti. Tato skutečnost se nazývá „únava materiálu“. Nebezpečí lomu z únavy nastane jen tehdy, je-li překročena hranice, kterou nazýváme mez únavy. Tato mez únavy se zjišťuje na speciálních zkušebních strojích. [3]

Zkouška rázem v ohybu

Tato zkouška je stěžejní částí této práce a proto ji je věnováno nejvíce prostoru.

Slouží k zjištění množství práce nebo energie, která se spotřebuje na porušení zkušební tělesa. V případě instrumentované zkoušky se měří síla/průhyb (síla/čas). Zkouší se jedním rázem, kdy na porušení zkušební tyče se použije najednou dostatečné množství energie. Rázem lze zkoušet pevnost v tahu, tlaku, ohybu nebo krutu.

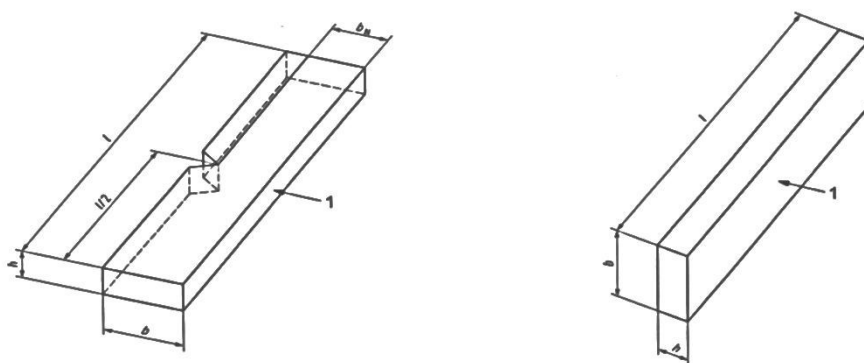
3. Instrumentovaná zkouška rázem v ohybu metodou Charpy dle ČSN ISO 179-2

Zkouška rázem v ohybu je nejpoužívanější a je dobrým ukazatelem houževnatosti nebo křehkosti materiálů. Nejpoužívanější je zkouška vrubové houževnatosti na Charpyho kyvadlovém kladivu.

Neinstrumentovaná metoda dle ISO 179-1, je vhodná jen k charakterizaci rázového chování stanovením rázové houževnatosti při použití zkušebních zařízení, jejichž potenciální energie je přibližně rovna energii potřebné k přeražení zkušební tělesa. [4]

Instrumentovaná metoda, kterou se budu v této diplomové práci zabývat dle ISO 179-2 je metodou pro stanovení rázových vlastností Charpy plastů a to ze záznamů závislosti síla/průhyb. Specifikuje také typy zkušebních těles tvaru desek, různé uspořádání a parametry zkoušky dle zkoušeného typu plastu, zkušební tělesa a vrubu. [5]

Zkoušku je možno provést rázem na užší stranu „edgewise” nebo rázem na stranu širší „flatwise” zkušební tělesa, viz. obr. 5, kde číslo 1 označuje směr rázu.



Obr. 5 Ráz Charpy na užší („edgewise”) a širší („flatwise”) stranu [4]

Tato metoda má mnohem větší rozsah užití než metoda Izod, která se uvádí v normě ISO 180 a je vhodnější pro zkoušení materiálů, které vykazují mezivrstvý smykový lom nebo těch materiálů vykazujících povrchové vlivy způsobené okolím. [4]

Tento typ metody je vhodný pro tento rozsah materiálů:

- „*Tuhé termoplasty pro tváření (včetně plněných a vyztužených materiálů vedle neplněných typů) a desky z tuhých termoplastů;*
- *Tuhé reaktoplasty pro tváření (včetně plněných a vyztužených materiálů) a desky z tuhých reaktoplastů (včetně laminátů);*
- *Kompozity plněné vlákny na bázi reaktoplastů a termoplastů vyztužené v jednom nebo více směrech výztužemi (jako jsou rohože, tkaniny, tkané roving, sekaná vlákna, kombinované a hybridní výztuže, roving a mleté textily) nebo desky vyrobené z předimpregnovaných materiálů (prepregů), včetně plněných a vyztužených materiálů;*
- *Termotropní polymery na bázi tekutých krystalů*”; - [4]

Při použití této metody se narozdíl od ocelových zkušebních těles běžně nepoužívají zkušební tělesa, která jsou opatřena vrubem pro tvrdé lehčené materiály, pro kompozity vyztužené dlouhými vlákny nebo pro termotropní polymery na bázi tekutých krystalů.

Nejvhodnější je použití této metody pro zkušební tělesa, která mohou být na definované rozměry tvářena, zhotovena obráběním ze střední části víceúčelového zkušebního stroje nebo, ta která mohou být zhotovena obráběním z hotových produktů či polotovarů (výlisky, lamináty, vytlačované nebo lité desky).

Metoda definuje přednostně používané rozměry zkušebních těles. Pokud jsou zkoušky prováděny na zkušebních tělesech jiných rozměrů a s odlišnými vruby či na tělesech, která se připravovala za jiných podmínek, mohou být výsledky vzájemně nesrovnatelné. Pro úplné vyhodnocení reakce na rázové namáhání, je nezbytné provádět měření v závislosti na rychlosti průhybu a na teplotě pro různé materiálové proměnné, jako je krystalinita a obsah vlhkosti. [4]

Tato metoda poskytuje informace o typickém chování materiálů. Neměla by být pokládána za zdroj informací a dat pro konstrukční výpočty.

3.1 Podstata zkoušky

Podstata zkoušky spočívá v přeražení zkušebního tělesa tvaru hranolu s vrubem nebo bez vrubu jedním rázem kyvadlového kladiva ve směru kolmém k přímce rázu za předem definovaných podmínek. Během rázu zaznamenáváme rázovou sílu. Dle způsobu vyhodnocení je možné průhyb zkušebního tělesa měřit přímo měřicím zařízením nebo lze také průhyb vypočítat z počáteční rychlosti a síly jako funkci času. Získaná křivka síla/průhyb nám popisuje chování zkušebního tělesa během rázového ohybového namáhání, ze kterého jsme schopni následně odvodit některé vlastnosti materiálu. [5]

3.2 Zkušební zařízení

V tabulce 2 jsou znázorněny energie a k nim přiřazené rychlosti dle ISO 13802

Základní charakteristiky Charpyho instrumentované zkoušky

Potenciální energie E [J]	Rychlost nárazu v [m/s]
7,5	3,8 (±10%)
15	
25	
50	

Tab.2 Základní charakteristiky Charpyho instrumentované zkoušky [6]

3.2.1 Základní části zkušebního stroje

Zkušební stroj plní správnou funkci tehdy, pokud zajistí, aby zkušební těleso bylo ohýbáno konstantní rychlostí kolmo k délce zkušebního tělesa. Sílu, kterou je namáháno zkušební těleso musí být možné změřit a průhyb zkušebního tělesa musí být možné vypočítat nebo změřit.

Mezi základní části zkušebního stroje patří nosič energie, břit a rám s podpěrami pro zkušební těleso.

Nosič energie

Nosič energie může být dvojího typu:

1) Setrvačný

– což je kyvadlo nebo padající tlouk, které lze urychlit pružinou nebo pneumaticky před provedením rázu

2) Hydraulický

– jedná se o vysokorychlostní rázový zkušební stroj s vhodnými přídatnými zařízeními.

Maximální povolený pokles rychlosti během nárazu nesmí být větší než 10 % a to z důvodu, aby se zabránilo získávání nesrovnatelných výsledků v důsledku viskoelastického chování zkoušeného materiálu.

Břit

Břit je možné zhotovit z takového materiálu, který má dostatečně vysokou odolnost proti otěru a dostatečnou pevnost, aby se nedeformoval a zároveň byl schopen přenášet sílu, která působí na zkušební těleso, na zařízení pro měření rázové síly. Dle zkušeností je vhodná ocel, lze také použít materiál s nižší hustotou např. titan.

Geometrie břitu je specifikována normou ISO 13802, kde vrcholový úhel břitu je $30^\circ \pm 1^\circ$ a vrcholový rádius má hodnotu $2 \text{ [mm]} \pm 0,5 \text{ [mm]}$. Tyto rozměry je možné zkontrolovat kalibrem, který je uváděn ve stejné normě.

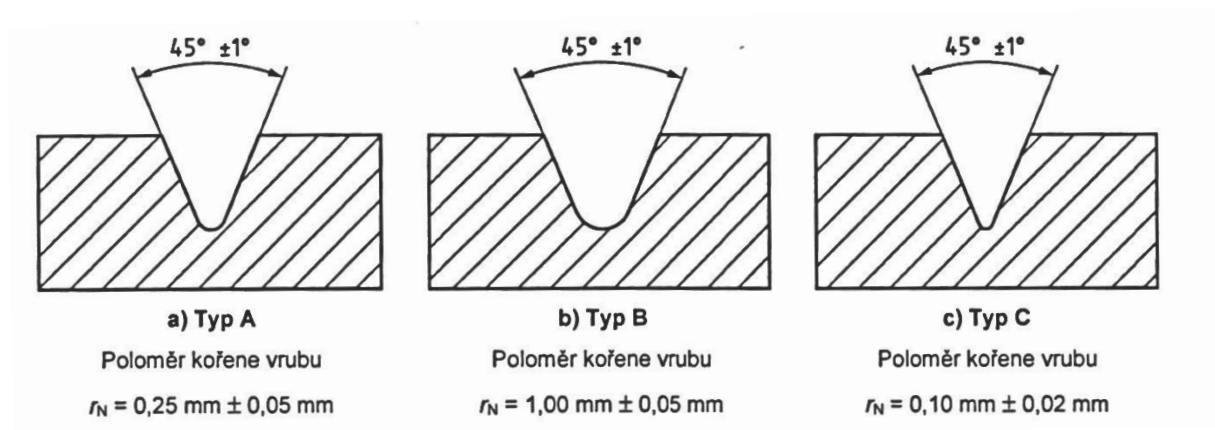
Kyvadlo

Kyvadlo je specifikováno normou ISO 13802, kde je uvedeno mimo jiné, že hodnota potenciální energie E_1 se nesmí lišit o více než $\pm 1 \%$ od výpočtu. [5]

Podpěry zkušebního tělesa a zkušební tělesa

U zkušebních těles se provádí kontrola, která ověřuje, zda není těleso zkroucené, zda má vzájemně kolmé rovnoběžné dvojice povrchů. Na površích a hranách nesmí být vrypy, nerovnosti či propadliny a přetoky. Tyto požadavky se kontrolují vizuálně a měřením mikrometrem. Ta tělesa, která nesplňují výše popsané požadavky jsou vyřazena nebo se musí před zkouškou obrobít na správnou velikost a tvar.

Vruby, které jsou zhotoveny obráběním se provádějí v souladu s ISO 2818, kde profil řezného zubu musí připravit vrub požadovaného tvaru a hloubky, který je zobrazen na obr. 6. Pokud je to předepsané v normě, je možné pro daný materiál použít zkušební tělesa s vruby zhotovenými tvářením. [4]



Obr.6 Typy vrubů [4]

Tvar a rozměry zkušebních těles

Typ zkušebního tělesa	Délka l [mm]	Šířka b [mm]	Tloušťka h [mm]	Rozpětí podpěr L [mm]
1	80 ± 2	$10 \pm 0,2$	$4 \pm 0,2$	$62_{-0,0}^{+0,5}$
2	25h	10 nebo 15	3	20h
3	11h nebo 13h			6h nebo 8h

Tab.3 Tvary a rozměry zkušebních těles [4]

Materiály nevykazující mezivrstvý smykový lom

V následující tabulce je zobrazeno označení metod, typy zkušebních těles a rozměry vrubů pro materiály nevykazující mezivrstvý lom.

Označení metody a typy zkušebních těles s jejich geometrií nevykazující mezivrstvý smykový lom

Označení metody	Typ zkušebního tělesa	Směr rázu	Typ vrubu	Poloměr kořene vrubu	Šířka pod vrubem
ISO 179-1/1eA	1	Na užší stranu „edgewise”	A	$0,25 \pm 0,05$	$8,0 \pm 0,2$
ISO 179-1/1eB			B	$1,00 \pm 0,05$	$8,0 \pm 0,2$
ISO 179-1/1eC			C	$0,10 \pm 0,02$	$8,0 \pm 0,2$
ISO 179-1/1eU			Bez vrubu		
ISO 179-1/1fU		Na širší stranu „flatwise”	Bez vrubu		

Tab.4 Označení metod, typy zkušebních těles, typy a rozměry vrubů pro materiály nevykazující mezivrstvý smykový lom [4]

Materiály pro tváření

- u tohoto typu materiálu je vhodné použít tělesa typu 1, která mohou mít jeden ze tří různých typů vrubů viz. obr.6. Vrub musí být zhotoven ve středu zkušebního tělesa;
- Převážně používaným vrubem je vrub typu A;
- Pro většinu materiálu jsou vhodná zkušební tělesa s absencí vrubu anebo opatřena vrubem A, zkoušena rázem na užší stranu „edge wise”;

- Pokud při zkoušce nedojde k porušení zkušebního tělesa opatřených vrubem A, tak se provede zkouška opakovaně ovšem nyní se zkušebním tělesem s vrubem typu C;

Materiály v podobě desek

- Doporučená tloušťka $h = 4$ [mm];
- Zkouší –li se zkušební tělesa bez vrubu na širší stranu „flat wise”, tak se musí namáhat v tahu původní neopracovaná plocha;

Materiály vykazující mezivrstvový smykový lom

- Jedná se o materiály vyztužené dlouhými vlákny ;
- Zkouší se tělesa typu 2 nebo 3 bez vrubu;
- U těchto zkušebních těles je specifikována pouze tloušťka h , co se týče délky, tak je důležitý poměr rozpětí podpěr a tloušťky dle ISO 179-1;

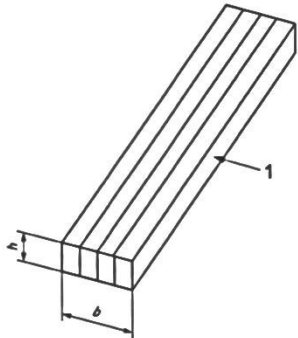
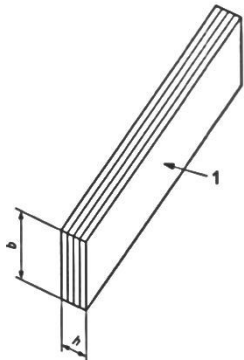
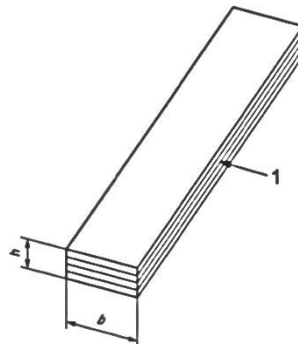
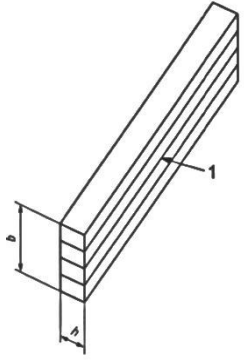
Pokud není v příslušné normě uvedeno jinak, zkouší se vždy minimálně 10 zkušebních těles. V případě zkoušení laminátů v normálovém a rovnoběžném směru musí být pro každý směr použito 10 zkušebních těles.

Jestliže není v příslušné normě pro daný materiál uvedeno jinak musí se zkušební tělesa kondicionovat nejméně 16 [h] při teplotě 23 ± 2 [°C] a relativní vlhkosti 50 ± 5 % dle ISO 291.

V následující tabulce jsou zobrazeny zkoušky Charpy kde „fn” a „ep”, se používají pro lamináty, kdežto zkouška Charpy označená jako „en” a „ep” se používá pro všechny ostatní materiály. Zkouška Charpy označená jako „fn” a „fp” se používá pro materiály, které vykazují vliv povrchu. [4]

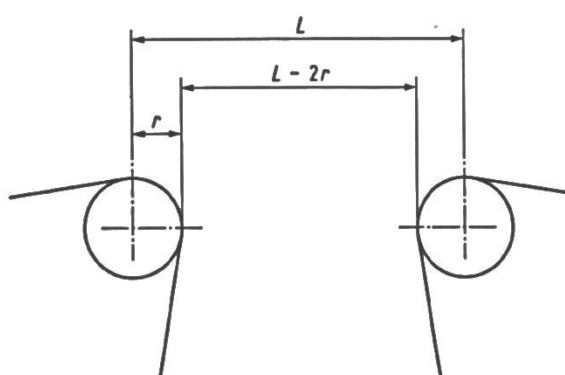
Směr rázu zkoušky

	Edgewise (e)	Flatwise (f)
--	--------------	--------------

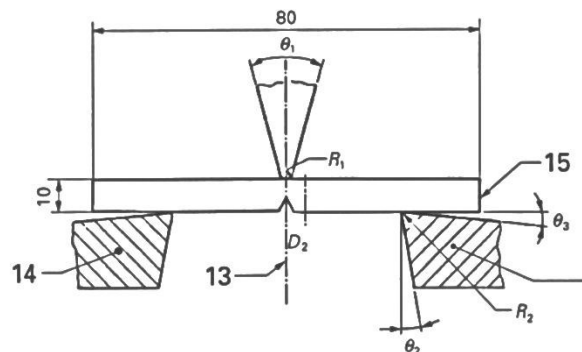
Normálový ráz (n)		
Rovnoběžný ráz (p)		

Tab.5 Schématické znázornění směru rázu [4]

Rozpětí podpěr zkušebního tělesa L je definováno, jako vzdálenost mezi přímkami dotyku zkušebního tělesa s podpěrami, viz. obr.7.



Obr. 7 Rozpětí podpěr L [4]



Obr. 8 Uložení zkušebního tělesa s vrubem na podpěrách [6]

Rám

Rám zkušebního stroje musí zajistit takové nastavení, aby břit a podpěry zkušebního tělesa byly v souladu s normou ISO 179-2.

Přístroje pro měření síly a průhybu

Měření síly

Při měření síly, která působí na zkušební těleso je břit vybaven tenzometrem nebo piezoelektrickým snímačem, který se musí nacházet v blízkosti nárazové hrany břitu. Snímače musí zajistit přesnost měření s přesností nejméně 1 % maximální síly.

Měření průhybu

Průhyb zkušebního tělesa je možné měřit přímo nebo vypočítat dvojí integrací křivky síla/čas. V mnoha případech vykazují přístroje pro měření síly a průhybu rozdíl mezi časy pro přenos signálu, což tvoří stálou odchylku na křivce síla/průhyb. Tato odchylka roste úměrně s rychlostí nárazu. Proto je nutné časové křivky synchronizovat časovým posunem, který má stejnou hodnotu jako rozdíl přenosových časů.

Výpočet průhybu:

- Pro horizontální ráz nosičů energie typu kyvadla:

$$s(t) = v_0 t - \frac{L_p \cdot g}{M_H} \int_0^t \int_0^{t_1} F(t) dt dt_1 \quad (3.1)$$

- Pro vertikální ráz nosičů energie typu padajícího tlouku:

$$s(t) = v_0 t - \frac{1}{m_c} \int_0^t \int_0^{t_1} F(t) dt dt_1 + \frac{1}{2} g t^2 \quad (3.2)$$

- Kde:

v_0 = je rychlost nárazu [$m.s^{-1}$]

t = čas po nárazu, kdy se počítá průhyb [s]

L_p = (fyzikální) délka kyvadla [m]

M_H = horizontální moment kyvadla [$N.m$]

$F(t)$ = síla měřená v čase t po nárazu [N]

$s(t)$ = průhyb zkušebního tělesa v čase t po nárazu [m]

m_C = hmotnost nosiče energie [kg]

g = místní gravitační zrychlení [$m.s^{-2}$] [5]

3.3 Postup zkoušky

Zkouška se provádí v tomtéž prostředí, které se používá pro kondicionaci. Jestliže tomu tak není, je nutné snížit dobu mezi kondicionací a zkouškou na minimum, tak aby bylo zabráněno změně stavu materiálu ve zkušebním tělese a tím změně mechanického chování.

U zkoušek, které se provádí při jiné než pokojové teplotě zkušebních těles, je důležité, aby doba mezi kondicionací a zkouškou byla kratší než 10 [s]. Vlhkostní rozdíly mezi prostředím pro kondicionaci a zkoušením nejsou tak kritické.

1. Stanoví se rozměry zkušebního tělesa.
2. Proveďte se kontrola zkušebního stroje – tzn. zda má předepsanou rychlost nárazu a má-li nosič energie setrvačného typu minimální požadovanou hodnotu hmotnosti.
3. Nosič energie se uvede do své výchozí polohy a zkušební těleso se umístí na podpěry, tak aby břit dopadal na střed zkušebního tělesa s odchylkou $\pm 0,5$ [mm].
4. Uvolní se nosič energie a zaznamená se síla, která působí během rázu a také průhyb zkušebního tělesa jako funkce času. [5]

Na následujícím snímku (obr. 9) jsou zobrazeny jednotlivé typy přeražení křivky síla/průhyb, které jsou typické pro zkušební těleso typu 1 uložené na užší stranu.

Kde:

N = nepřeraženo: za mezí kluzu následuje plastická deformace do mezního průhybu S_L ;

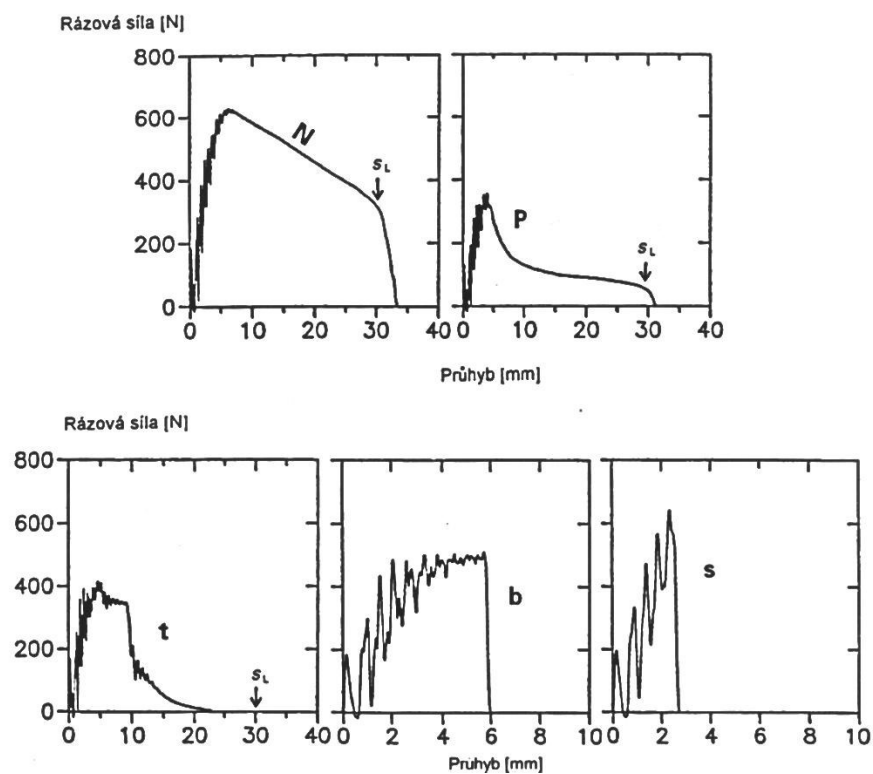
P = částečné přeražení: za mezí kluzu následuje stabilní šíření trhlin, jehož výsledkem je, že síla při mezním průhybu S_L je větší než 5 % maximální síly;

t = tvárné přeražení: za mezí kluzu následuje stabilní šíření trhliny, jehož výsledkem je, že síla při mezním průhybu S_L je menší nebo rovna 5 % maximální síly;

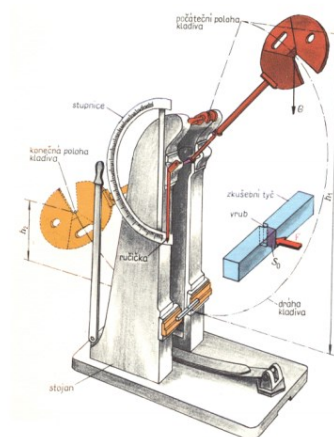
b = křehké přeražení: za mezí kluzu následuje nestabilní šíření trhliny;

s = tříštivé přeražení: nestabilní šíření trhliny před mezí kluzu;

S_L = mezní průhyb, začátek protažení mezi podpěrami;



Obr. 9 Křivky síla průhyb znázorňující různé typy přeražení [5]

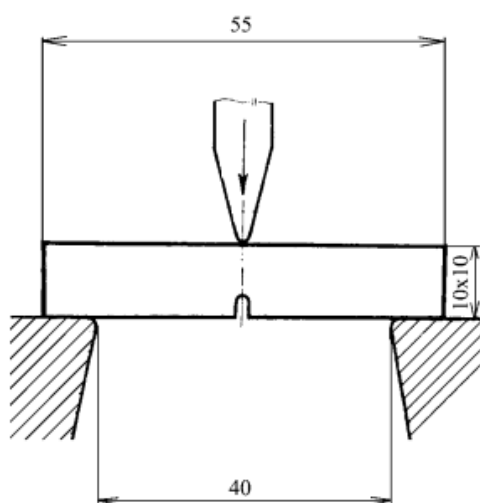


Obr. 10 Charpyho kladivo [3]

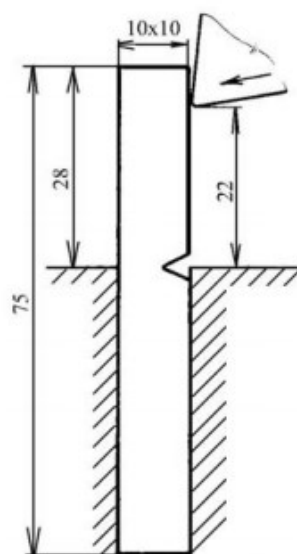
3.4 Historický vývoj zkoušení houževnatosti materiálů

Historie zkoušení houževnatosti materiálů (kovů) začala na počátku minulého století, kde na sjezdu Mezinárodního svazu pro technické zkoušení materiálů r. 1901 v Budapešti přednášel Francouz G. Charpy o svých provedených zkouškách zjišťování houževnatosti přerážením prismatických tyčí opatřených vrubem. Na IV. kongresu r. 1906 v Bruselu hovořil o zkušenostech se zkouškou ve Francii a uváděl dva tvary tyčí a dvě velikosti strojů sloužících ke zkoušení. Konečně na V. kongresu v Kodani r. 1909 bylo doporučeno normování Charpyho zkoušky, která se brzy ujala a rozšířila po celém evropském kontinentu.

V Anglii navrhl Izod jiný způsob zkoušení. Charpy ukládá zkušební těleso na dvě pevné podpory a vede ráz doprostřed proti vrubu (simple beam test) podle viz. obr.11, kdežto Izod vetknul zkušební těleso až ke vrubu do šaboty a na volný konec nechal působit ráz (cantilever beam test), jak je znázorněno na obr. 12. Hlavní odlišnost těchto způsobů je v tom, že u zkoušky dle Charpyho narazí kladivo na zkoušené těleso v rovině vrubu, kdežto u zkoušky Izodovy je ráz veden na místo od vrubu vzdálené. Zkouška Izodova byla zavedena v Anglii a částečně i v USA. [7]

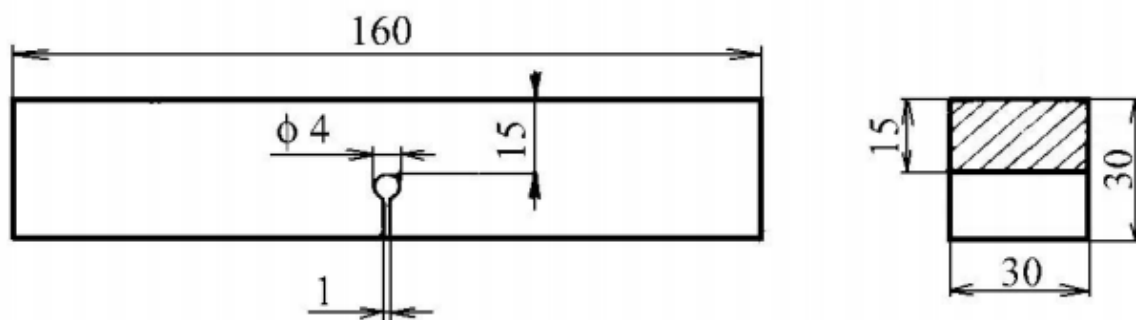


Obr.11 metoda dle Charpy[7]

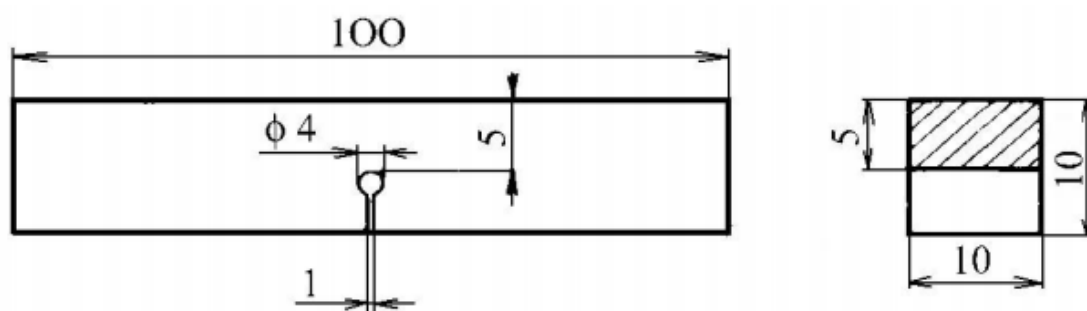


Obr.12 metoda dle Izod[7]

Na kodaňském kongresu byly doporučeny dvě velikosti zkušebních tyčí (pro ocel) – větší na obr.13 a menší na obr. 14.



Obr. 13 Tvar a rozměry velké Charpyho tyče [7]



Obr. 14 Tvar a rozměry malé Charpyho tyče [7]

Nedlouho poté na VI. kongresu v New Yorku r. 1912 bylo zjištěno, že výsledky získané na obou tyčích nejsou navzájem srovnatelné a že je potřeba zachovat obě tyče jako dva typy zkoušek. Během I. světové války v letech 1914 až 1918 nastal rozpad Mezinárodního svazu a v metodice Charpyho zkoušky nastal chaos. Původní velká Charpyho tyč se ukázala nevhodnou a byla v mnoha zemích změněna na průřez 20 x 20 nebo 20 x 15 [mm]. Postupně však ztrácela stále na významu a dnes už není vůbec užívána. U malé tyče byla původní délka zmenšena na 55 [mm] a vzdálenost podpor na 40 [mm], což bylo všeobecně odsouhlaseno. Také vzniklo velké množství tvarů vrubů. Výsledky zkoušek na různých tyčích byly odlišné a nedaly se nijak převádět a srovnávat. Tím vznikly neobyčejné potíže v obchodních stycích. Ve dvacátých letech se proto často ozývaly vážné hlasy odsuzující vrubovou zkoušku jako zcela nepotřebnou a některé hutě ji

odmítaly uznat za zkoušku přejímací. Celý tento chaos vyplynul z neznalosti základních procesů probíhajících v materiálu při zkoušce rázem v ohybu.

Po konci první světové války se nejvíce rozšířila tyč Mesnagerova s vrubem o hloubce 2 [mm] a poloměru 1 [mm], která byla postupně normována v řadě zemí a také u nás (ČSN 1038 – 1930). Jinde přicházely tyče s vrubem totožného poloměru, ale hloubky 2,5 nebo 5 [mm]. Mimo jiné byly v některých zemích zavedeny tyče s ostrým vrubem, které se užívaly u zkoušky Izodovy.

Roku 1927 byl na kongresu v Amsterdamu ustaven nový mezinárodní svaz pro zkoušení materiálu, kde bylo pro rozlišení názorů dohodnuto učinit vrubovou zkoušku předmětem mimořádného jednání na budoucím kongresu, který se konal r. 1931 v Curychu. Bohužel ani na tomto kongresu nebylo možné názory sjednotit, a tak výsledek celého dlouhého jednání lze shrnout asi takto: Skoro jednohlasně bylo řečeno, že má vrubová zkouška velkou praktickou důležitost, avšak je nevyhnutelně zapotřebí mezinárodní sjednocení zkušební tyče. Za nejlépe vyhovující tyč byla jednomyslně uznána dosud užívaná velikost 10 x 10 x 55 [mm]; užití velké Charpyho tyče přestalo být uznáváno. Co se tyče tvaru vrubu nebylo dosaženo jednotnosti, ale bylo uznáno, že Mesnagerova tyč není nejlepší volbou a bylo doporučeno zvětšit hloubku vrubu na 3 [mm] podle německé normy (tvar DVM navržený Moserem). U obzvláště houževnatých ocelí přichází v úvahu německý návrh dodatečné zkoušky s ostrým vrubem; tvar vrubu však ujednán nebyl. Jednání bylo uzavřeno tím, že normalizace zkušebních metod přísluší Mezinárodní normalizační asociaci (ISA). Bohužel ani v této organizaci nedošlo před válkou ke sblížení stanovisek, jelikož jednání bylo komplikováno houževnatě hájeným francouzským návrhem, aby byl vrub prohlouben na 5 [mm]. Nakonec vyšel prozatímní návrh, doporučující vruby 3 i 5 [mm] hluboké s poloměrem 1 [mm]. Tím byly ve druhém vydání ČSN 1038 z r. 1942 zavedeny dva tvary vrubu.

Curyšský kongres doporučil jednotlivým národním korporacím, aby se zabývaly otázkou ve svých zemích a stále prováděly srovnávací zkoušky. ČSN pověřila Československý zkušební svaz organizováním těchto zkoušek, které byly prováděny s podporou hutí. Byly srovnávány vrubové houževnatosti u dvaceti druhů ocelí na tyčích se šesti tvary vrubů. Při podrobném zkoumání výsledky potvrdily starou zkušenost, a to že vruby ostré posuzují citlivost ocele proti rázu mnohem přísněji než vruby oblé. Ovšem kdy je přísnějšího rozlišování zapotřebí bylo předmětem dalšího výzkumu.

Po skončení druhé světové války nastala v naší normě změna, neboť vrub 5 [mm] hluboký se neujal, jelikož nepřinášel žádné výhody. Norma ČSN 42 0381, platná od r. 1953, se opět vrací ke dvěma tvarům tyčí s hloubkou vrubu 2 a 3 [mm] a s poloměrem 1 [mm].

Roku 1946 byla mezinárodní normalizační spolupráce obnovena pod názvem Mezinárodní standardizační organizace (ISO), z které vyšlo po dlouhém jednání r. 1959 rozhodnutí R 83, doporučující pouze jediný vrub s hloubkou 5 [mm], který je souhlasný s usnesením Euronorm 7 – 55. Socialistické země, mezi nimi i tehdejší Československo, tato doporučení ovšem nepřijaly za své a provedly normalizaci dosavadních dvou typů vrubů s hloubkou 2 a 3 [mm]. Další vydání normy ČSN 42 0381 z r. 1962 je v různých detailech upraveno na základě mezinárodního doporučení, ale hloubky vrubů zůstávají nezměněny. Další změna této normy proběhla v roce 1978, rovněž ale zůstávají tvary a rozměry vrubů a zkušebních tyčí nezměněny.

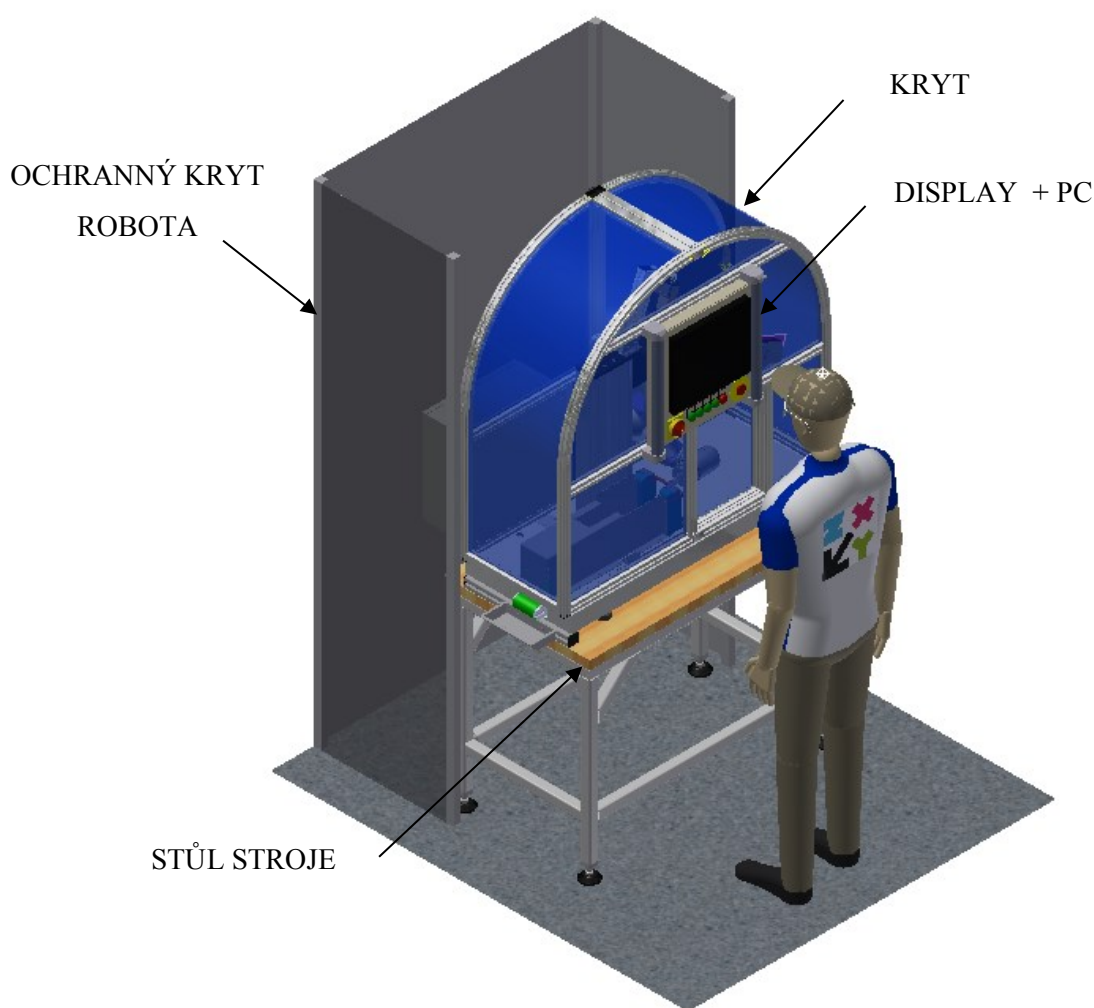
V roce 1998 došlo k výrazné změně, kdy Česká Republika přijala evropskou normu EN 10045-1, která nahrazuje normu 42 0381. Hloubka V-vrubu byla stanovena na 2 [mm], u U-vrubu na 5 [mm]. V národní příloze této normy je uvedeno, že v České Republice se zkouška provádí také na zkušebních tělesech s U-vrubem s jinou hloubkou vrubu než 5 [mm] (např. 2 [mm] a 3 [mm]) a s jinou šířkou zkušebních těles než 10 [mm] (např. 7,5 [mm] a 5 [mm]).

Tato norma (tedy ČSN EN 10045-1 – Kovové materiály – Zkouška rázem v ohybu podle Charpyho – část 1: Zkušební metoda - V a U vruby) je platná dodnes. [7]

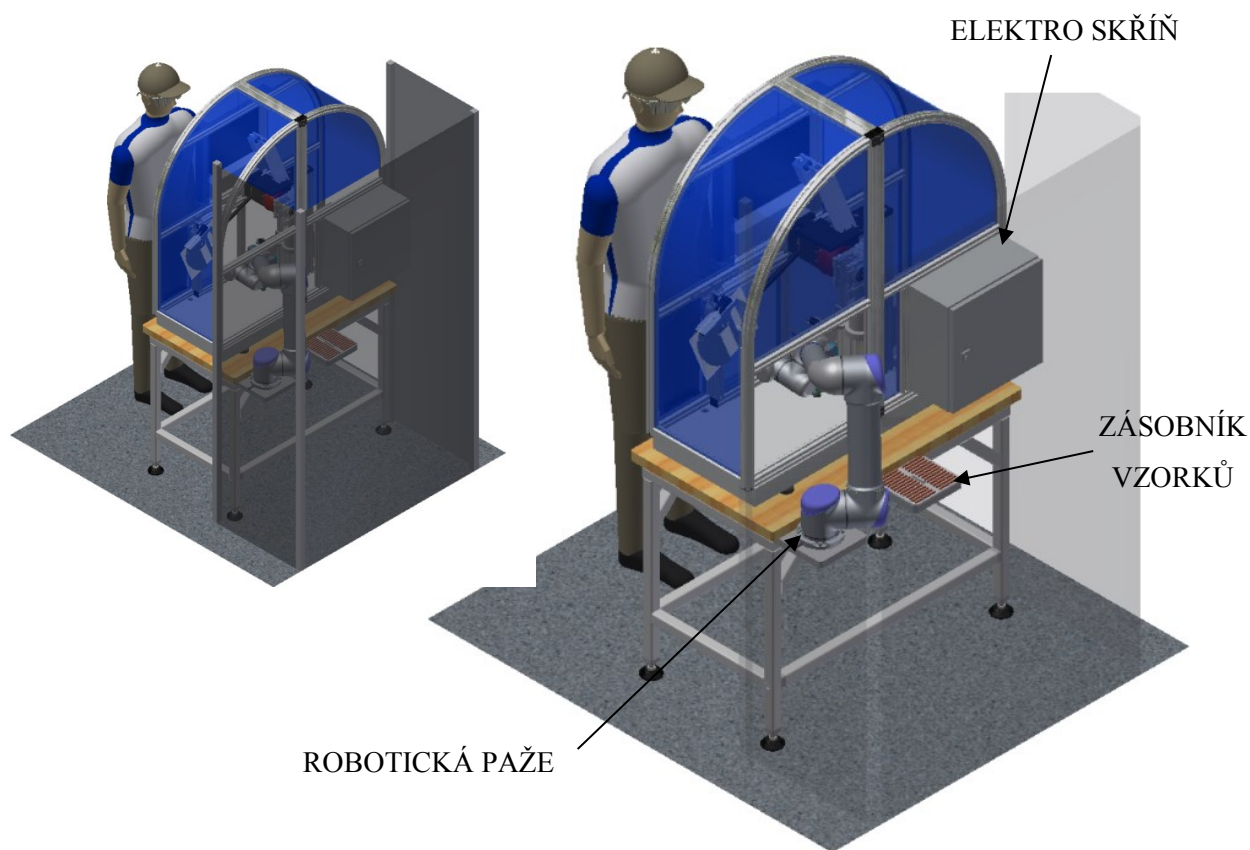
4. Konstrukční návrh a pevnostní kontrola charpyho kladiva

Má diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem instrumentovaného Charpyho kladiva s rázovou energií 25 a 50 [J], které je určeno pro zkoušení vzorků z plastu. Instrumentace kladiva se vyznačuje možností zjištění nejen potřebné rázové energie, ale také vyhodnocením rázové energie v závislosti na čase či průhybu zkoušeného vzorku.

Konstrukci Charpyho kladiva jsem zvolil takovou, aby splňovala moderní trendy, a to především v míře co největší automatizace s použitím moderních měřících snímačů a vyhodnocovací techniky.



Obr.15 Finální podoba automatizovaného pracoviště s Charpyho kladivem



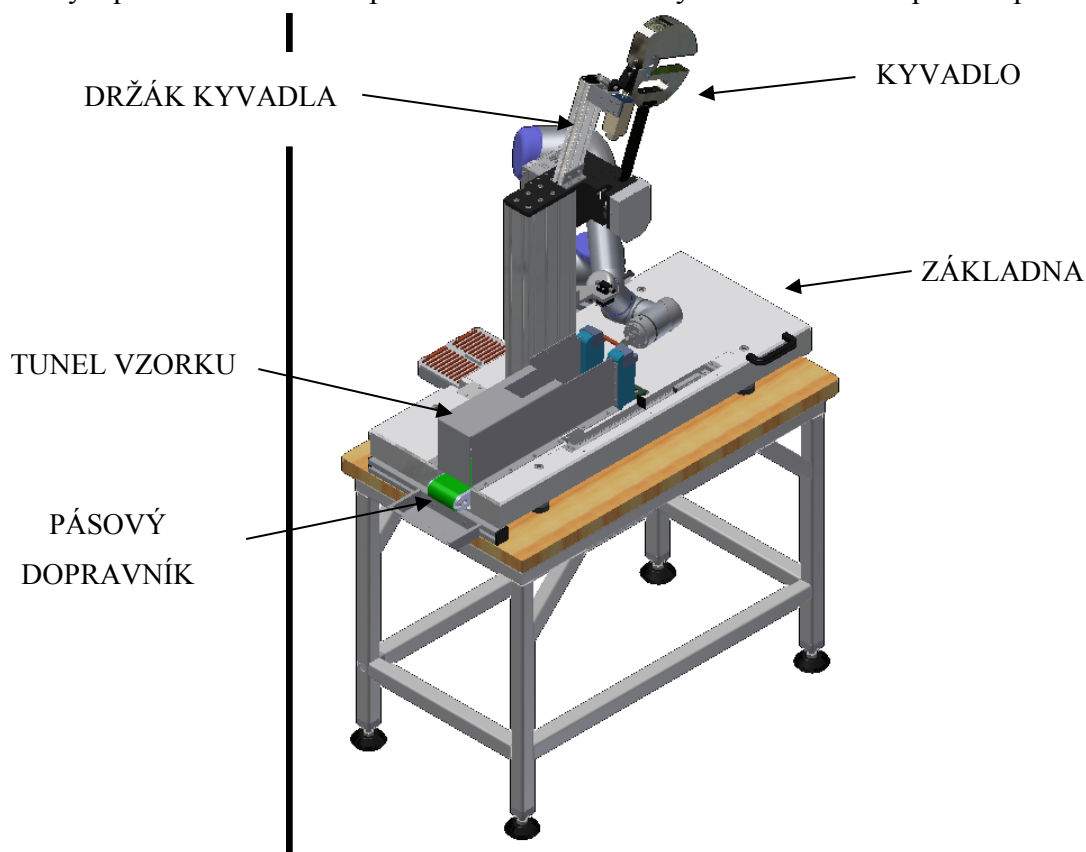
Obr. 16 Finální podoba Charpyho kladiva (pohled ze zadu)

Stůl stroje je svařenec ze čtvercových tenkostěnných profilů z konstrukční oceli třídy 11 353, na kterém jsou ve spodní části přišroubovány nohy, které zajišťují ustavení stroje ve správné pracovní poloze. Horní část stolu tvoří ocelová a dřevěná deska, přes které je uchycena základna Charpyho kladiva.

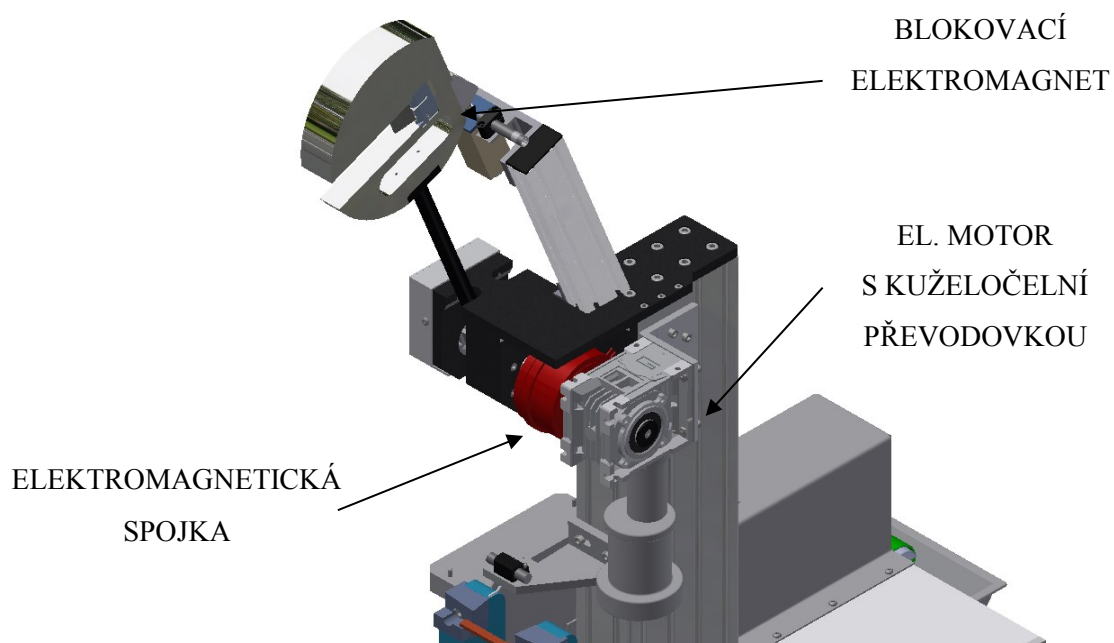


Obr. 17 Stůl Charpyho kladiva + nohy základny

Do základny je implementován pásový dopravník a také přímočarý pneumatický pohon, který zajišťuje chod dvířek. Základna nese hliníkový profil, na kterém je připevněn pohon (motor s převodovkou a elektromagnetická spojka), konzole kladiva s ložiskovými domky a především samotná palice. V základně nechybí držák vzorku spolu s opěrami.



Obr. 18 Pohled na osazení základny



Obr. 19 Detailní pohled na pohon Charpyho kladiva

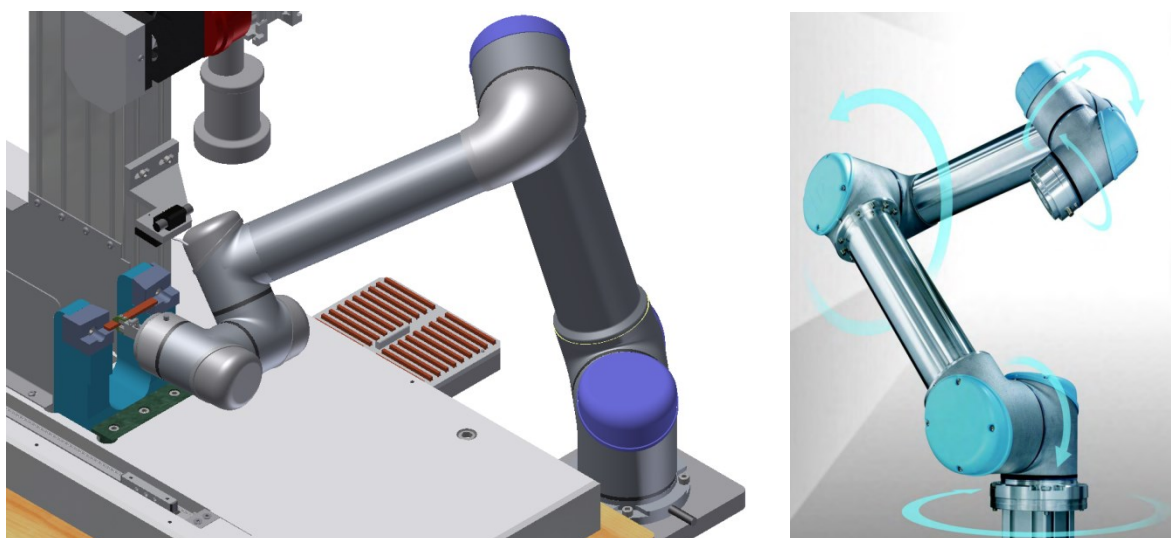
V této práci jsem se zabýval nadimenzováním dvou palic: 1x 25 [J] a 1x 50 [J], palice jsou instrumentované, snadno vyměnitelné a splňují požadavky normy ČSN EN ISO 17025.



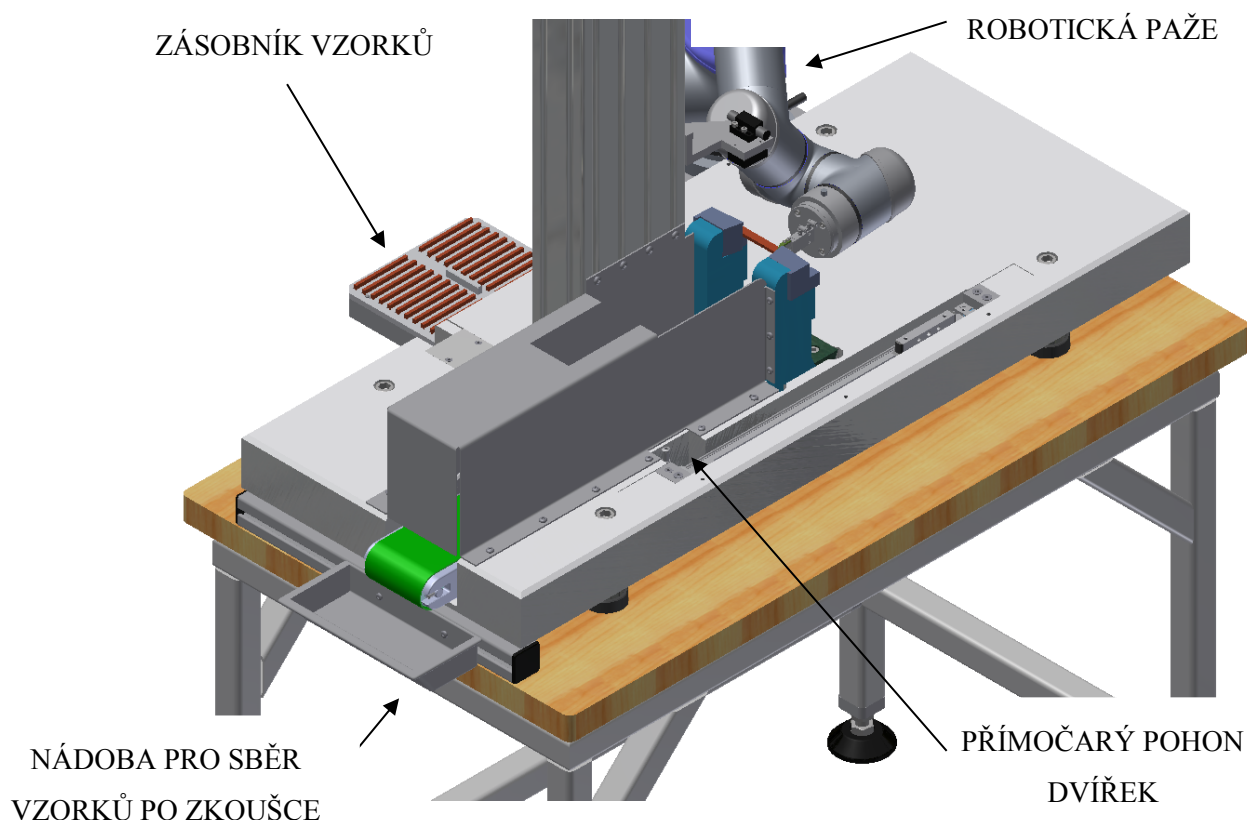
Obr.20 Palice 50 a 25 [J]

Ocelová deska stolu slouží jako podstava pro hliníkový zásobník vzorků a také pro robotickou paži.

Robotická paže UR5 je určena jako přímá náhrada operátorů. Dosah paže je 850 [mm] a je schopna unést břemeno o hmotnosti až 5 [kg]. UR5 pracuje s přesností 0,1 [mm] a otočit se o 180[°] je schopen za 1 [s] . [8]

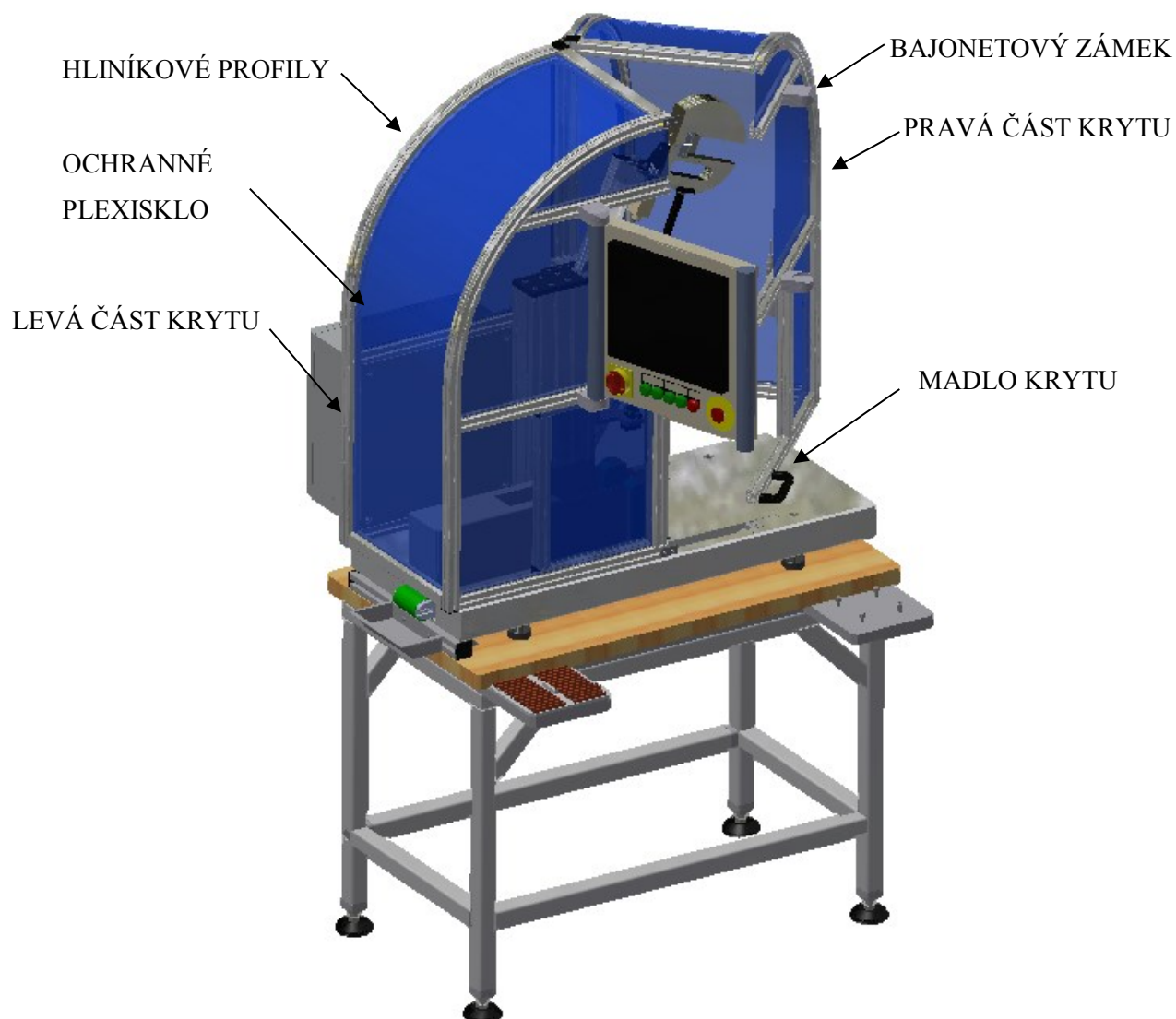


Obr. 21 Robotická paže UR5 [8]



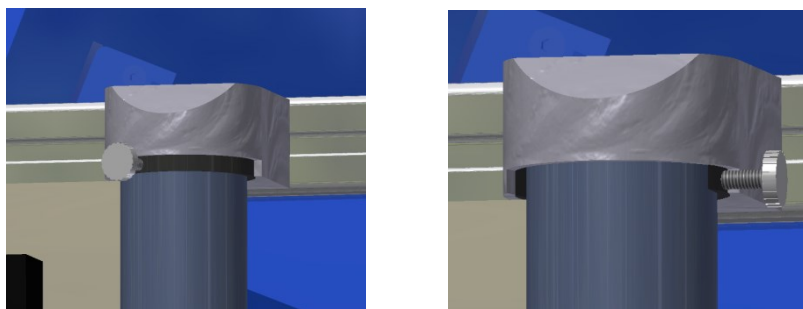
Obr.22 Pohled na zásobník vzorků a robotickou paži

Kryt stroje je tvořen hliníkovým stavebnicovým systémem firmy Ulmer, který je z hlediska montáže velmi snadno složitelný a do budoucna modifikovatelný. Kryt tvoří dvě části, z nichž je jedna (pravá) plně rozevíratelná. Pravá strana krytu je otevírací a to z důvodu případných větších servisních úkonů, které není možné provést samotnými dvířky pro vkládání vzorků. Pokud takový úkon bude nutný, je zapotřebí vytočit pc s displayem, tedy odemknout bajonetový zámek. Dále je nutné demontovat přes dvířka lin. vedení a poté je možno kryt otevřít. Součásti krytu stroje jsou i pneumaticky ovládaná dvířka s lineárním vedením. Na krytu stroje je přichyceno pc s dotykovým displayem, které slouží zároveň jako vyhodnocovací jednotka. Viz. obr.23



Obr.23 Otevřený kryt charpyho kladiva

Bajonetový zámek displaye viz. obr. 24 jsou přichyceny na šasi PC firmy Rittal a přišroubovány k profilům krytu. Na obrázku vlevo lze vidět zamknutý a vpravo odemknutý display.



Obr.24 Bajonetový zámek displaye

4.1 Návrh kyvadla 50 [J]

Dimenzování palice je provedeno dle normy ČSN EN ISO 13802, 64 0614 a dále byla provedena instrumentace v souladu s normou ČSN EN ISO 179-2 ZMĚNA A1, 64 0612.

Konstrukční návrh palice jsem provedl pomocí software Excel, a to iterační metodou.

4.1.1 Určení délky ramene L_I :

$$v_I = \sqrt{2 \cdot g \cdot L_I \cdot (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_0)} \Rightarrow L_I = \frac{v_I^2}{2 \cdot g \cdot (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_0)} \quad (4.1)$$

$$L_I = \frac{3,8^2}{2 \cdot 9,81 \cdot (\cos 0 - \cos 158)} = 0,37988 \text{ [m]} \cong 380 \text{ [mm]} \quad (4.2)$$

Kde: v_I = rychlost nárazu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

g = gravitační zrychlení země [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

L_I = vzdálenost od osy rotace po bod nárazu do středu vzorku [m]

α_1 = úhel nárazu [$^\circ$]

α_0 = výchozí úhel [$^\circ$]

4.1.2 Výpočet doby kmitu T_P :

$$L_P = \frac{g \cdot T_P^2}{4 \cdot \pi^2} \Rightarrow T_P = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot L_P}{g}} \quad (4.3)$$

$$T_P = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 0,37988}{g}} = 1,23644 \text{ [s]} \quad (4.4)$$

Kde: L_P = teoretická délka kyvadla s teor. hmotností koncentrovanou v bodě se stejnou periodou oscilace jako skutečné kyvadlo ($L_P=L_I$) [m]

T_P = doba oscilace kyvadla [s]

4.1.3 Výpočet teoretické hmotnosti kyvadla

$$E = M_H \cdot (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_0) \Rightarrow m_{teor.} = \frac{E}{g \cdot L_H \cdot (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_0)}$$

$$= \frac{50}{9,81 \cdot 0,379 \cdot (\cos 0 - \cos 158)} = 6,96 \text{ [kg]} \quad (4.5)$$

$$M_{Hteor.} = F_{2teor.} \cdot L_H = m_{teor.} \cdot g \cdot L_H = 6,96 \cdot 9,81 \cdot 0,38 = 25,94 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (4.6)$$

Kde: E = potenciální energie kyvadla; $E=50 \text{ [J]}$

$M_{Hteor.}$ = teoretický kroutící moment kyvadla k ose rotace $[\text{N} \cdot \text{m}]$

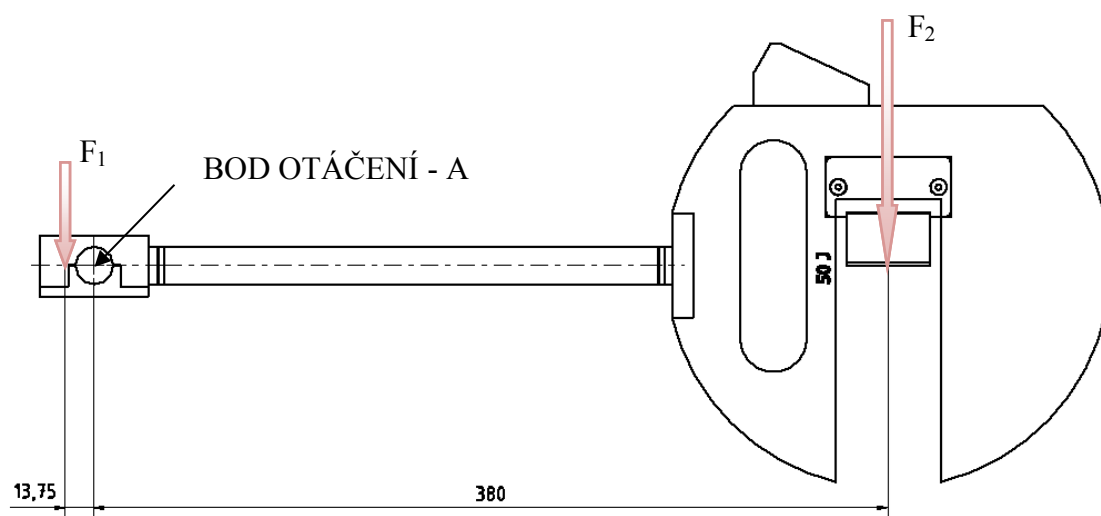
L_H = délka kyvadla od středu otáčení po skutečné těžiště ($L_H = L_P$) $[\text{m}]$

$m_{teor.}$ = teoretická hmotnost kyvadla, $m_{teor.} = 6,96 \text{ [kg]}$

$F_{2teor.}$ = teoretická síla, $F_{2teor.} = 68,27 \text{ [N]}$

Jelikož je kyvadlo připevněno k hřídeli svěrným spojem a hmota spoje nad osou rotace působí jako protizávaží (0,134 [kg]), je nutné tuto skutečnost při výpočtu zohlednit.

Schéma kyvadla:



Obr.25 Schéma kyvadla 50 [J]

4.1.4 Výpočet hmotnosti kyvadla

$$F_1 = m_{zdv.} \cdot g = 0,134 \cdot 9,81 = 1,315 \text{ [N]} \quad (4.7)$$

$$\sum MA = 0 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (4.8)$$

$$-F_1 \cdot 0,01375 + F_2 \cdot 0,380 = 0 \quad (4.9)$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot 0,01375}{0,380} = \frac{1,315 \cdot 0,01375}{0,380} = 0,048 \text{ [N]} \quad (4.10)$$

$$F_{50J} = F_{2teor} + F_2 = 68,28 + 0,048 = 68,326 \text{ [N]} \quad (4.11)$$

$$M_{skut.50J} = F_{50J} \cdot 0,380 = 68,326 \cdot 0,380 = 25,96 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (4.12)$$

Kde: $m_{zdv.}$ = hmotnost protizávaží (0,134) [kg]

F_1 = síla působící jako protizávaží (hmotnost svěrného spoje nad osou otáčení · gravitační zrychlení) [N]

F_2 = síla, nutná k vyvážení kyvadla [N]

F_{50J} = skutečná síla působící v těžišti kyvadla [N]

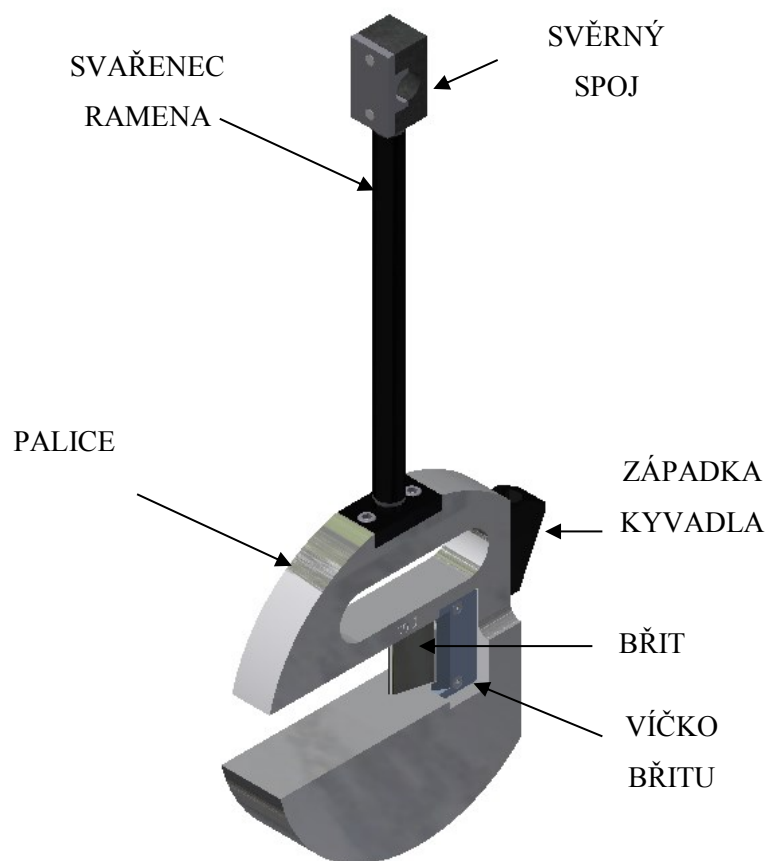
$M_{skut.50J}$ = skutečný největší kroutící moment působící na osu rotace [N·m]

V praxi se kyvadlu přičítá cca. 10[g] navíc, aby bylo možné Charpyho kladivo kompletně správně zkalibrovat.

Kyvadlo je uchyceno k hřídeli svěrným spojem. Kyvadlo je sestava ramene v podobě svařence, samotné palice, břitu s tenzometry a víčky břitu. Viz. obr. 26

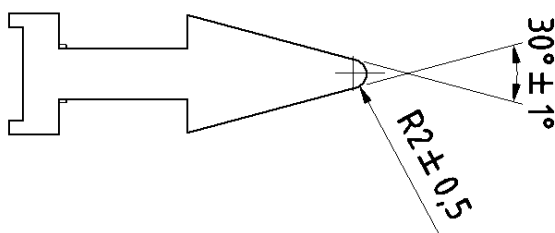


Obr.26 Detail svěrného spoje a osazení břitu



Obr.27 Popis kyvadla (50 J)

Jak je již zmíněno výše, kyvadlo je instrumentováno což znamená, že břit je osazen tenzometry a je navržen dle příslušné normy (ČSN EN ISO 13 802). Viz. obr. 28. Břit je navržen z nástrojové oceli třídy 19 312 (90MnCrV8) a zušlechtěn na 55+5 [HRC]. V případě výměny z důsledků opotřebení anebo nutnosti přejít na jinou normu (např. ASTM apod.), lze břit snadno vyměnit sejmutím víček + ochranného plechu tenzometrů.



Obr. 28 Rozměry vázané ČSN EN ISO 13 802

4.2 Návrh kyvadla 25 [J]

4.2.1 Určení délky ramene L_I :

$$v_I = \sqrt{2 \cdot g \cdot L_I \cdot (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_0)} \Rightarrow L_I = \frac{v_I^2}{2 \cdot g \cdot (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_0)} \quad (4.13)$$

$$L_I = \frac{3,8^2}{2 \cdot 9,81 \cdot (\cos 0 - \cos 158)} = 0,37988 \text{ [m]} \cong 380 \text{ [mm]} \quad (4.14)$$

4.2.2 Výpočet doby kmitu T_P :

$$L_P = \frac{g \cdot T_P^2}{4 \cdot \pi^2} \Rightarrow T_P = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot L_P}{g}} \quad (4.15)$$

$$T_P = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 0,37988}{g}} = 1,23644 \text{ [s]} \quad (4.16)$$

4.2.3 Výpočet teoretické hmotnosti kyvadla

$$\begin{aligned} E = M_H \cdot (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_0) &\Rightarrow m_{teor.25J} = \frac{E}{g \cdot L_H \cdot (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_0)} \\ &= \frac{25}{9,81 \cdot 0,360815 \cdot (\cos 0 - \cos 158)} = 3,664 \text{ [kg]} \end{aligned} \quad (4.17)$$

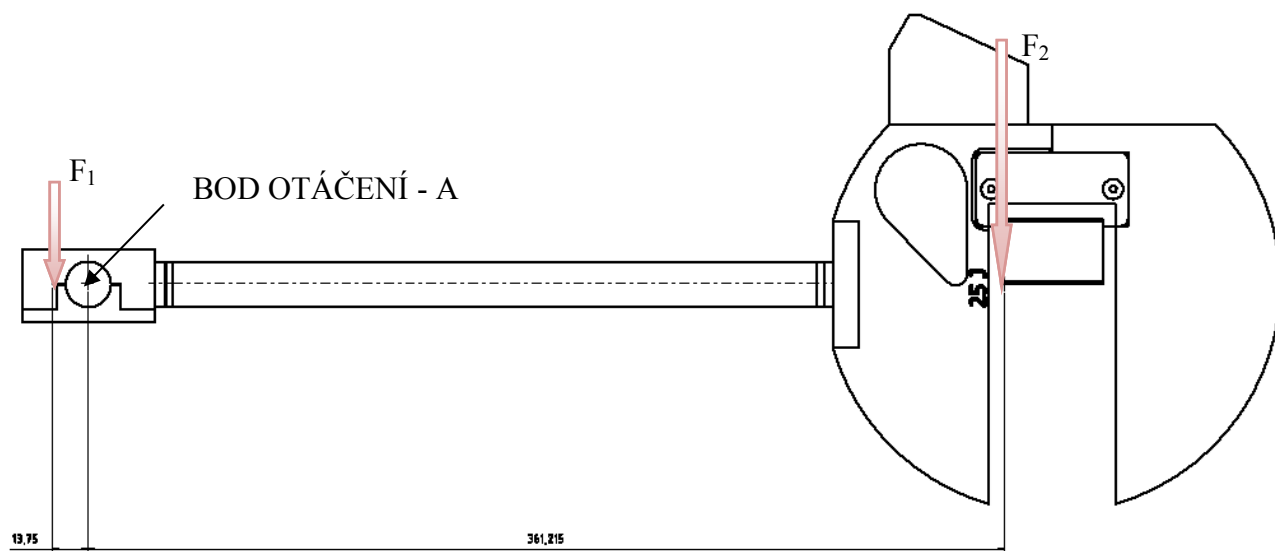
$$M_{Hteor.} = F_{2teor25J} \cdot L_H = m_{teor25J} \cdot g \cdot L_H = 3,664 \cdot 9,81 \cdot 0,360815 = 12,97 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (4.18)$$

Kde: $m_{teor25} = \text{hmotnost kyvadla}$, $m_{teor} = 3,664 \text{ [kg]}$

$F_{2teor25J.} = \text{teoretická síla}$, $F_{2teor.25J} = 35,94 \text{ [N]}$

Jelikož je kyvadlo připevněno k hřídeli svěrným spojem a hmota spoje nad osou rotace působí jako protizávaží (0,134 [kg]), je nutné tuto skutečnost při výpočtu zohlednit.

Schéma kyvadla:



Obr.29 Schéma kyvadla 25 [J]

4.2.4 Výpočet hmotnosti kyvadla

$$F_1 = m_{zav.} \cdot g = 0,134 \cdot 9,81 = 1,315 \text{ [N]} \quad (4.19)$$

$$\sum MA = 0 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (4.20)$$

$$-F_1 \cdot 0,01375 + F_2 \cdot 0,360815 = 0 \quad (4.21)$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot 0,01375}{0,360815} = \frac{1,315 \cdot 0,01375}{0,360815} = 0,05 \text{ [N]} \quad (4.22)$$

$$F_{25J} = F_{2teor25J} + F_2 = 35,943 + 0,05 = 35,993 \text{ [N]} \quad (4.23)$$

$$M_{skut25J.} = F_{25J} \cdot 0,360815 = 35,993 \cdot 0,360815 = 12,986 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (4.24)$$

Kde: F_{25J} = skutečná síla působící v těžišti kyvadla [N]

$M_{skut.25J}$ = skutečný největší krouticí moment působící na osu rotace [N·m]

4.3 Výpočet třecího momentu ložisek

Jelikož jsou palice uchyceny na hřídeli a otáčí se v ložiscích, tak ložiska působí proti pohybu palice třecím momentem. Aby byla zachována požadovaná hmotnost kyvadla a také energie je nutné tento moment zohlednit ve výpočtu. V praxi se ložiska vymívají v petroleji, který vytvoří na ložiscích mastný film a tím dojde ke snížení momentu tření na minimum. Také je nutné vybrat ložiska bez jakýkoli ochranných víček apod. Jak je již zmíněno výše, palice se navrhuje cca. o 10 gramů těžší právě z důvodů následné kalibrace a eliminace tohoto tření.

Příklad výpočtu momentu tření je proveden dle SKF. [9]

Nejprve je nutností spočítat dílčí momenty, po jejich sečtení získáme požadovanou hodnotu celkové třecího momentu M . Tyto dílčí momenty definují zdroje tření v každém styku, které nastávají v ložisku a kombinuje je.

$$M = M_{rr} + M_{sl} + M_{seal} + M_{drag} \quad (4.25)$$

Kde: $M = \text{celkový třecí moment [N}\cdot\text{mm]}$

$M_{rr} = \text{moment valivého tření [N}\cdot\text{mm]}$

$M_{sl} = \text{moment smykového tření [N}\cdot\text{mm]}$

$M_{seal} = \text{třecí moment těsnění [N}\cdot\text{mm]}$

$M_{drag} = \text{třecí moment způsobený odporem brodění, hnětením, odstříkáváním atd. [N}\cdot\text{mm]}$

4.3.1 Moment valivého tření M_{rr}

Moment valivého tření nastává při otáčení ložiska a následném odvalování valivých tělísek po oběžných drahách.

$$M_{rr} = G_{rr} \cdot (\nu \cdot n)^{0,6} = 0,00256 \cdot (2,06 \cdot 15)^{0,6} = 0,02 \text{ [N}\cdot\text{mm]} \quad (4.26)$$

Kde: $G_{rr} = \text{proměnná závislá na typu ložiska, zatížení atd. [1]}$

$n = \text{otáčky; } n = 15 \text{ [min}^{-1}\text{]}$

$\nu = \text{kinematická viskozita maziva při provozní teplotě; } 2,06 \text{ [mm}^2\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$

$$G_{rr} = R_1 \cdot d_m^{1,96} \cdot F_r^{0,54} = 3,9 \cdot 10^{-7} \cdot 33,5^{1,96} \cdot 34,16^{0,54} = 0,00256 [1] \quad (4.27)$$

$$d_m = 0,5 \cdot (d + D) = 0,5 \cdot (20 + 47) = 33,5 [mm] \quad (4.28)$$

Kde: R_1 = geometrická konstanta pro moment valivého tření pro ložiskovou řadu 62,

$$R_1 = 3,9 \cdot 10^{-7} [1]$$

d_m = střední průměr ložiska [mm]

F_r = radiální zatížení ložiska; $F_r = 34,16 [N]$

d = vnitřní průměr ložiska; $d = 20 [mm]$

D = vnější průměr ložiska; $D = 47 [mm]$

4.3.2 Moment smykového tření

$$M_{sl} = G_{sl} \cdot \mu_{sl} = 0,465 \cdot 0,05 = 0,0233 [N \cdot mm] \quad (4.29)$$

Kde: G_{sl} = proměnná závislá na typu ložiska, zatížení atd. [1]

μ_{sl} = součinitel smykového tření; $\mu_{sl} = 0,05 [1]$

$$G_{sl} = S_1 \cdot d_m^{-0,26} \cdot F_r^{\frac{5}{3}} = 3,23 \cdot 10^{-3} \cdot 33,5^{-0,26} \cdot 34,16^{\frac{5}{3}} = 0,465 [1] \quad (4.30)$$

Kde: S_1 = moment smykového tření pro lož. řadu 62; $S_1 = 3,23 \cdot 10^{-3} [1]$

Moment $M_{seal} = 0$, protože ložiska jsou bez jakéhokoliv těsnění či víček.

4.3.3 Moment tření v olej. lázni apod.

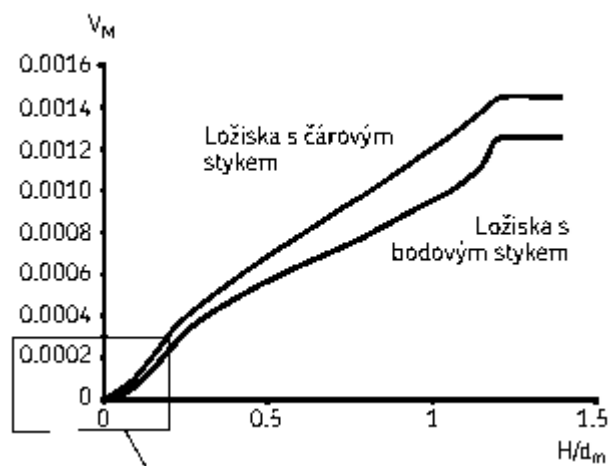
$$M_{drag} = V_M \cdot K_{ball} \cdot d_m^5 \cdot n^2 = 0,0001 \cdot 7,69 \cdot 33,5^5 \cdot 15^2 = 7,3 \cdot 10^{-6} [N \cdot mm] \quad (4.31)$$

Kde: V_M = proměnná jako funkce výšky hladiny oleje podle diagramu Obr. 30;

$$V_M = 0,0001 [1]$$

K_{ball} = konstanta pro ložiska s bodovým stykem [1]

Určení proměnné V_M :



Obr. 30 Diagram V_M [9]

$$K_{ball} = \frac{i_{rw} \cdot K_Z \cdot (d + D)}{D - d} \cdot 10^{-12} = \frac{1 \cdot 3,1 \cdot 67}{47} \cdot 10^{-12} = 7,69 [1] \quad (4.32)$$

Kde: i_{rw} = počet řad kuliček; $i_{rw} = 1 [1]$

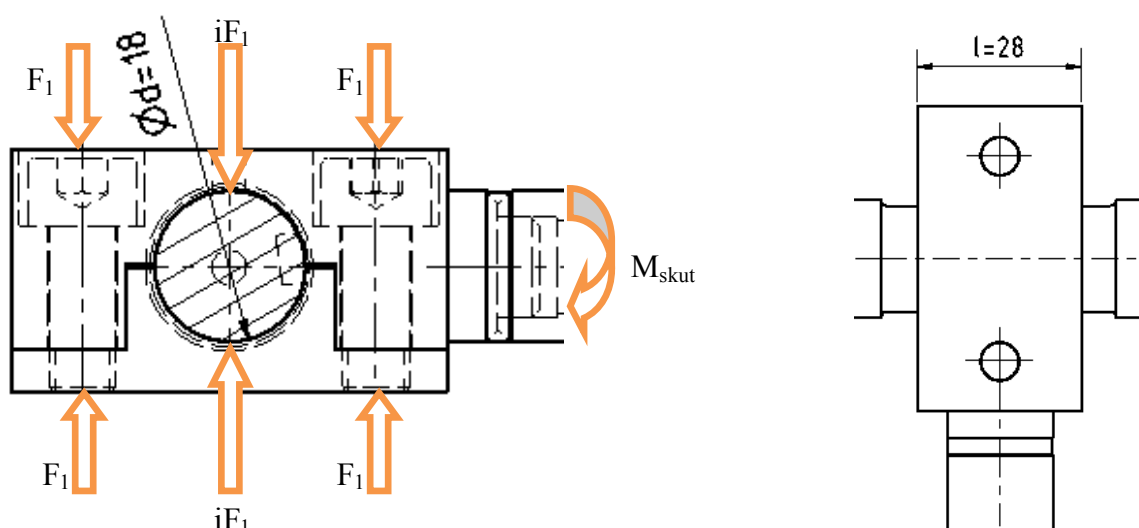
K_Z = geometrická konstanta typu ložiska; $K_Z = 3,1 [1]$

4.3.4 Celkový moment tření

$$\begin{aligned} M &= M_{rr} + M_{sl} + M_{seal} + M_{drag} = 0,02 + 0,0233 + 0 + 7,3 \cdot 10^{-6} \\ &= 0,043 [N \cdot mm] \end{aligned} \quad (4.33)$$

Tento celkový moment tření by se měl z matematického hlediska vynásobit dvěma a přičíst ke skutečnému momentu jednotlivého kyvadla. Jelikož se ke kyvadlům bude přidávat navíc 10 [g], není to podmínkou.

4.4 Konstrukční návrh svěrného spoje kyvadla



Obr.31 Detail svěrného spoje

4.4.1 Výpočet svěrné síly potřebné na jeden šroub

$$F_{1s} = \frac{k \cdot M_{skut}}{n \cdot i \cdot d \cdot f} = \frac{2 \cdot 25960}{1,2 \cdot 2 \cdot 18 \cdot 0,1} = 12\,018,5 \text{ [N]} \quad (4.34)$$

4.4.2 Výpočet maximálního tlaku

$$i \cdot F_{1s} = d \cdot l \cdot p \Rightarrow p = \frac{i \cdot F_{1s}}{d \cdot l} = \frac{2 \cdot 12\,018,5}{18 \cdot 28} = 47,69 \text{ [MPa]} \quad (4.35)$$

$$p \leq p_D$$

$$47,69 \leq 50 \text{ [MPa]}$$

Kde: F_{1s} = svěrná síla potřebná na jeden šroub [N]

k = součinitel bezpečnosti ($k \geq 2$) [1]

n = součinitel závislý na vůli v uložení součástí na hřídeli a na velikosti deformace náboje ($n=1,2$ až $1,4$) [1]

$i = \text{počet šroubů [1]}$

$d = \text{průměr hřídele [mm]}$

$f = \text{součinitel tření (0,1) [1]}$

$l = \text{délka náboje [mm]}$

$p = \text{tlak svěrného spoje [MPa]}$

$p_D = \text{maximální dovolený tlak svěrného spoje [MPa]}$

4.5 Volba a návrh šroubu svěrného spoje

4.5.1 Návrh průměru šroubu d_3

$$\beta \cdot \sigma_T \leq \sigma_{DT} \quad (4.36)$$

$$\beta \cdot \frac{F_1}{S} \leq \frac{Re}{k_s} \quad (4.37)$$

$$\beta \cdot \frac{F_1}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} \leq \frac{Re}{k_s} \quad (4.38)$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot \beta \cdot F_{1s} \cdot k_s}{Re \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3 \cdot 12018,5 \cdot 2}{1080 \cdot \pi}} = 6,071 \text{ [mm]} \quad (4.39)$$

$$d_3 > d_{3\text{šroubu}} \quad (4.40)$$

Volím šroub ČSN EN ISO 4762 M8x1,25 pevnostní třídy 12.9

$$Rm = 100 \cdot 12 = 1200 \text{ [MPa]} \quad (4.41)$$

$$Re = \frac{9 \cdot Rm}{10} = \frac{9 \cdot 1200}{10} = 1080 \text{ [MPa]} \quad (4.42)$$

$$d_1 = 6,647 \text{ [mm]}$$

$$d_2 = 7,188 \text{ [mm]}$$

$$d_{3\text{šroubu}} = 6,466 \text{ [mm]}$$

$$P = 1,25 \text{ [mm]}$$

Kde: $d_{3\text{šroubu}}$ = malý průměr závitu; $d_{3\text{šroubu}}$ - volím **6,647** [mm]

$$d_2 = \text{střední průměr závitu; } d_2 = 7,188 \text{ [mm]}$$

$$d = \text{velký průměr závitu; } d = 8 \text{ [mm]}$$

$$P = \text{stoupání závitu; } P = 1,25 \text{ [mm]}$$

$$B = \text{koeficient; } \beta = 1,3[1]$$

$$Re = \text{mez kluzu; } Re = 1080 \text{ [MPa]}$$

$$Rm = \text{mez jmenovité pevnosti; } Rm = 1200 \text{ [MPa]}$$

$$ks = \text{součinitel statické bezpečnosti; } ks = 2 [1]$$

4.5.2 Pevnostní kontrola šroubu

Výpočet na tah:

$$\sigma_t \leq \sigma_{tD}$$

$$\sigma_t = \frac{F_{1s}}{S} = \frac{F_{1s}}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{12018,5}{\frac{\pi \cdot 6,647^2}{4}} = 346,52 \text{ [MPa]} \quad (4.43)$$

$$\sigma_{tD} = \frac{Re}{ks} = \frac{1080}{2} = 540 \text{ [MPa]} \quad (4.44)$$

- Podmínka je splněna

Kde: σ_t = tahové napětí [MPa]

σ_{tD} = dovozené tahové napětí [MPa]

Výpočet na krut:

$$\tau_k \leq \tau_{kD} \quad (4.45)$$

Kde: τ_k napětí v krutu [MPa]

τ_{kD} ... dovolené napětí v krutu; $\tau_{kD} = 80$ [MPa]

$$\tau_k = \frac{Mk}{Wk} = \frac{F_z \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{2773,81 \cdot \frac{7,188}{2}}{\frac{\pi \cdot 6,647^3}{16}} = 172,97 [\text{MPa}] \quad (4.46)$$

Kde: Mk = krouticí moment [N.mm]

Wk = modul průřezu [mm^3]

F_z = síla v závitu [N]

$$F_z = F_{1s} \cdot \text{tg}(\varphi' + \psi) = 12018,5 \cdot \text{tg}(9,83 + 3,17) = 2773,81 [\text{N}] \quad (4.47)$$

Kde: φ' = redukovaný třecí úhel [$^\circ$]

ψ = úhel stoupání [$^\circ$]

$$\text{tg}\varphi' = \frac{fz}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{0,15}{\cos 30^\circ} = 0,1732 = \varphi' = 9,83^\circ \quad (4.48)$$

Kde: fz = tření na závitu; $fz = 0,15$ [1]

α = úhel profilu; $\alpha = 60$ [$^\circ$]

$$\text{tg}\psi = \frac{Ph}{\pi \cdot d_2} = \frac{1,25}{\pi \cdot 7,188} = 0,0554 = \psi = 3,17^\circ \quad (4.49)$$

$$\tau_{kD} = 80 [\text{MPa}]$$

$$\sigma_{RED} \leq \sigma_{tD} \quad (4.50)$$

Kde: σ_{RED} = redukované napětí [MPa]

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{346,52^2 + 4 \cdot 172,97^2} = 489,64 [\text{MPa}] \quad (4.51)$$

- Podmínka je splněna

4.5.3 Určení velikosti utahovacího momentu pro vyvození osově síly F_{1s}

$$M_o = MT_z + MT_M = F_z \cdot \frac{d_2}{2} + F_{1s} \cdot f_M \cdot \frac{d_s}{2} \quad (4.52)$$

$$M_o = 2773,81 \cdot \frac{7,188}{2} + 12018,5 \cdot 0,18 \cdot \frac{11,7}{2} = 22\,624,6 \text{ [N} \cdot \text{mm]} =$$

$$> 22,6 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (4.53)$$

$$d_s = \frac{D_d + S}{2} = \frac{8,4 + 15}{2} = 11,7 \text{ mm} \quad (4.54)$$

Kde: M_o = moment na klíči [N·mm]

MT_z = moment odporu v závitech [N·mm]

MT_M = moment odporu tření na dosedací ploše hlavy šroubu [N·mm]

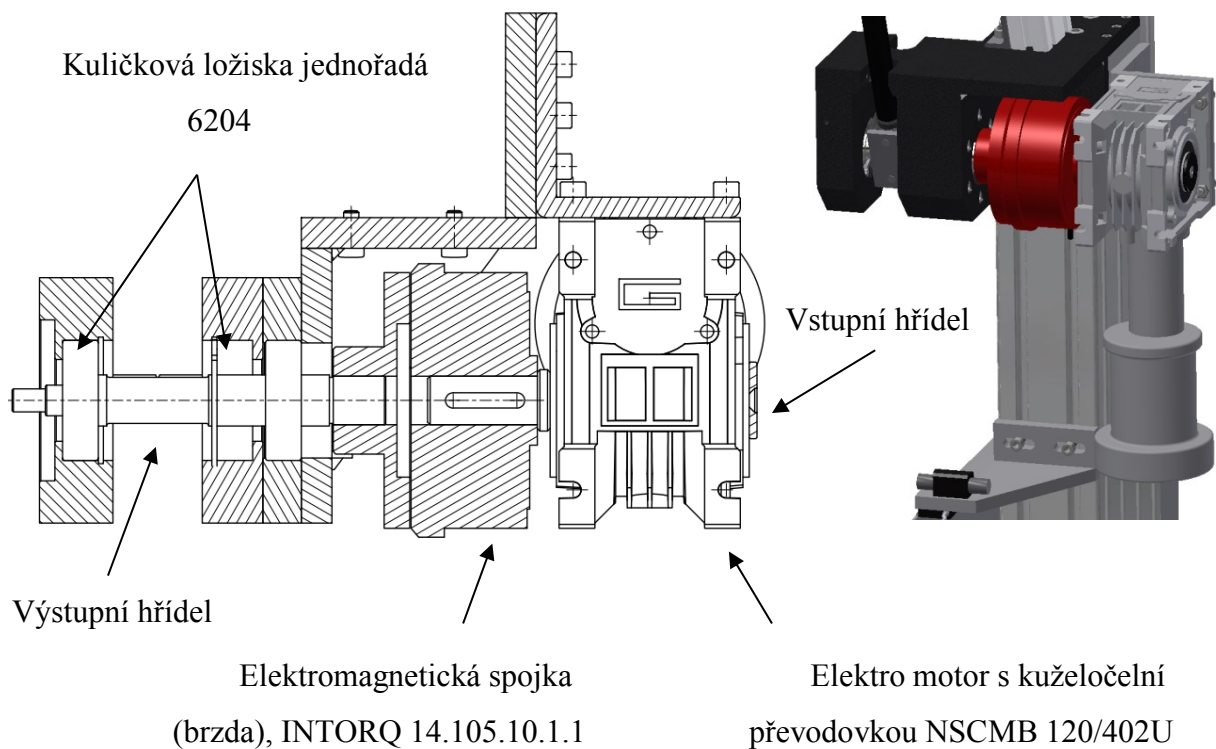
f_M = součinitel tření ve stykové ploše součásti (hlavy šroubu) $f_M=0,18$ [1]

d_s = přibližný střední průměr stykové plochy hlavy šroubu [mm]

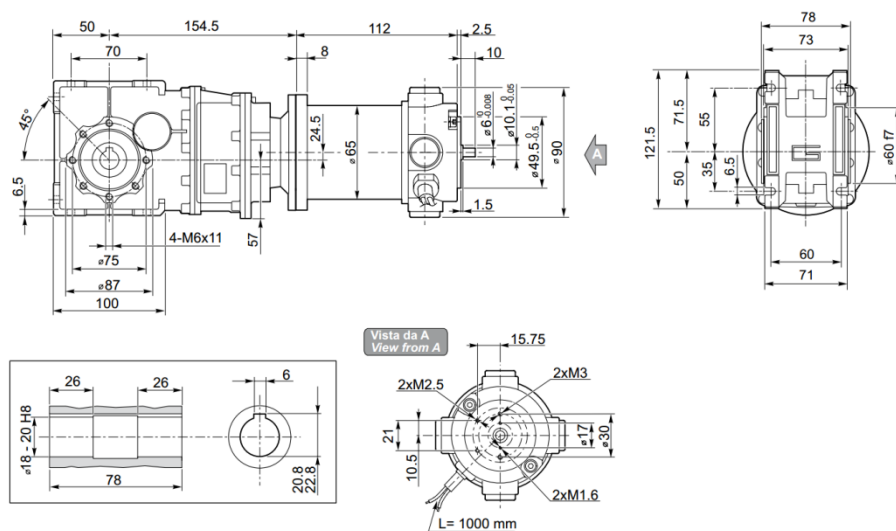
D_d = průměr díry pro šroub M8; $D_d=8,4$ [mm]

S = třecí plocha pod hlavou šroubu; $S= 15$ [mm]

4.6 Návrh pohonu



Obr. 32 Uložení pohonu + ISO pohled



Obr. 33 Schéma pohonu [10]

Pohon kyvadla zajišťuje elektromotor, který je dodáván kompletně s kuželočelní převodovkou. Jedná se o typ NSCMB 120/402U firmy Transtecno.

Pohon lze ustavit ve všech montážních polohách a je bezúdržbový. Celý pohon je mazán permanentním syntetickým olejem s dlouhou životností mazání. [10]

- Parametry pohonu:
- výkon; $P = 160 \text{ [W]}$
 - výstupní otáčky; $n = 47 \text{ [min}^{-1}\text{]}$
 - výstupní krouticí moment; $M_{\text{mot.}} = 30,8 \text{ [N}\cdot\text{m]}$
 - převodový poměr; $i = 64,29 \text{ [1]}$
 - faktor oprav (servisu); $sf = 1,7$

Krouticí moment je přenášen přes elektromagnetickou spojku (brzdu), kterou jsem volil dle maximální velikosti přenášeného krouticího momentu, jež je schopna přenášet třením na sucho, což je až $32 \text{ [N}\cdot\text{m]}$. Spojka byla zvolena dle katalogu firmy Lenze, s.r.o.[11]

4.6.1 Návrh průměru vstupní hřídele z namáhání na krut

$$d_{vst} \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{\text{mot.}}}{\pi \cdot \tau_D}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 30800}{\pi \cdot \tau_D}} = 18,44 \text{ [mm]} =$$

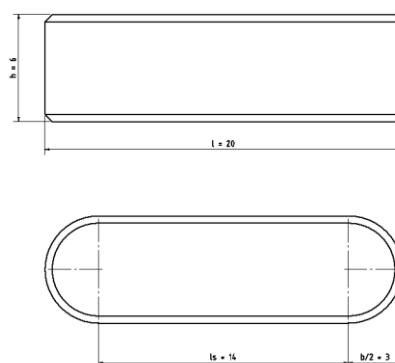
(4.55)

$> \text{volím průměr hřídele } 20 \text{ [mm]}$

Kde: $d_{vst} = \text{průměr vstupní hřídele [mm]}$

$\tau_D = \text{dovolené napětí v krutu; } \tau_D = 25 \text{ [MPa]}$

4.6.2 Výpočet pera pro vstupní hřídel



Obr. 34 Zvolené rozměry pera

$$l_s = \frac{4 \cdot M_{mot}}{d_{vst} \cdot h \cdot p_D} = \frac{4 \cdot 30800}{20 \cdot 6 \cdot 100} = 10,27 \text{ [mm]} \quad (4.56)$$

$$l_s = l - b \quad (4.57)$$

$$10,27 = l - 6 \quad (4.58)$$

$$16,27 = l \Rightarrow \text{délku pera volím } 20 \text{ [mm]}$$

Kde: d_{vst} = průměr hřídele; $d = 20 \text{ [mm]}$

h = výška pera; $h = 6 \text{ [mm]}$

p_D = maximální dovolený tlak, $p_D = 100 \text{ [MPa]}$

l = celková délka pera [mm]

b = šířka pera; $b = 6 \text{ [mm]}$

Volím PERO 6e7 x 6 x 20 ČSN 02 2562 z materiálu 11 600.

4.6.3 Návrh průměru výstupní hřídele z namáhání na krut

$$d_{výst} \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{skut}}{\pi \cdot \tau_D}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 25960}{\pi \cdot \tau_D}} = 17,4 \text{ [mm]} =$$

$$> \text{volím průměr hřídele } 18 \text{ [mm]} \quad (4.59)$$

Kde: $d_{výst}$ = průměr výstupní hřídele [mm]

4.6.4 Výpočet pera pro výstupní hřídel

$$l_s = \frac{4 \cdot M_{skut}}{d_{výst} \cdot h \cdot p_D} = \frac{4 \cdot 25960}{18 \cdot 6 \cdot 100} = 9,61 \text{ [mm]} \quad (4.60)$$

$$l_s = l - b \quad (4.61)$$

$$9,61 = l - 6 \quad (4.62)$$

$$15,61 = l \Rightarrow \text{délku pera volím } 18 \text{ [mm]}$$

5. MKP analýza zatížení břitu

Pro numerický výpočet byla zvolena metoda konečných prvků. Z možných typů analýz pro řešení tohoto problému je vhodné využít například modul v programu ANSYS Explicitní dynamika. Tento modul využívá princip explicitní metody řešení pohybových rovnic.

Explicitní dynamika je používána u designu dílů, které potřebují odolat pádům, nárazům, výbuchům nebo jiným vysokým krátkodobým pulsním zatížením. Algoritmy přesně předpovídají reakce, jako jsou velké materiálové deformace, porušení materiálu a rozpad těles. Zároveň umožňuje zahrnout interakce nejen mezi tělesy vzájemně, ale i mezi tělesy a tekutinou.

Fyzikální problémy zahrnující velká zatížení působící v krátkém čase, jako jsou mikrosekundy nebo milisekundy, lze obecně nejlépe simulovat pomocí explicitní dynamiky. Problémy velkých nelinearit, měnící se kontakty, porušení materiálu nebo rozpad těles a oddělení jejich částí lze takto vyřešit mnohem jednodušeji než standardní implicitní metodou.

Explicitní metoda

Nestacionární dynamické analýzy lze, podle způsobu integrace pohybových rovnic rozdělit na:

- analýzy s přímou integrací pohybových rovnic
- analýzy využívající modální transformaci

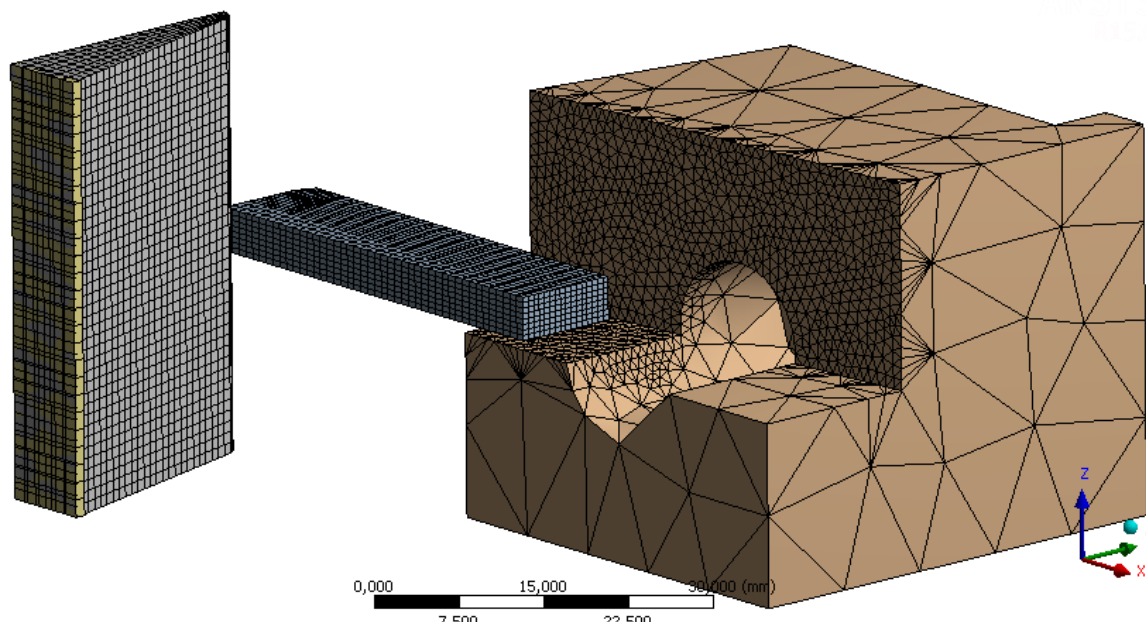
Nevýhodou explicitní formulace je skutečnost, že explicitní algoritmus je podmíněně stabilní. Stabilního výsledku se dosáhne pouze při dodržení dostatečně malé časové délky časového kroku. Závisí na velikosti elementů v dané síti a rychlosti šíření zvuku (napětových vln) ve vyšetřovaném prostředí. Velikost kritické délky časového kroku

je možno určit z rovnice (Courantovo kritérium), která má následující tvar: $\Delta t_c = \frac{h}{\sqrt{\frac{E}{\rho}}}$

Kde h je charakteristický rozměr nejmenšího prvku sítě, E je modul pružnosti v tahu a ρ je hustota materiálu. Fyzikálně lze kritickou hodnotu časového kroku definovat jako dobu průchodu napěťové vlny nejmenším prvkem sítě. Proto je nutno při tvorbě sítě vhodně volit její rozměry. Časový krok při aplikaci explicitní metody je asi 100 až 1000 krát menší než časový krok používaný u implicitního algoritmu. Při použití explicitního algoritmu je analyzovaný časový interval rozdělen na mnohem více krátkých časových kroků, jejichž řešení je ale mnohem rychlejší, než v implicitním případě. Vzhledem k malé délce kroku odpadají iterace uvnitř kroku a rovněž popis kinematiky pohybu při velkých deformacích je jednodušší. Explicitní řešení vyžaduje extrémně velký počet kroků při extrémně nízké výpočtové náročnosti kroku. Výhoda explicitní formulace se projeví při použití diagonální matice hmotnosti. V tomto případě se totiž soustava rovnic rozpadne na samostatné nezávislé rovnice. Z každé z nich lze přímo vyjádřit neznámou už na úrovni prvků bez nutnosti sestavování a následné triangularizace globálních matic tuhosti a hmotnosti. Jeden časový krok explicitního algoritmu je tak o několik řádů rychlejší, než odpovídající krok implicitního řešení. Navíc při zvyšování velikosti úloh narůstá počet operací explicitního řešiče pouze lineárně s počtem neznámých.

5.1 Výpočtový model

Geometrie vytvořené pomocí CAD nejsou vždy vhodné pro explicitní dynamické simulace. Například je potřeba upravit povrchy, které se nedotýkají nebo naopak překrývají a odstranit nepodstatné geometrické detaily tak, aby mohla být vytvořena kvalitní výpočetní síť. Kvalitu výpočetní sítě je pak možno hlídat dle vhodných parametrů. Program ANSYS umožňuje kvalitu elementu kvantifikovat pomocí kvality elementu a Jacobiho poměru. Oba tyto kvantifikátory kvality sítě konečných prvků je třeba kontrolovat a jejich hodnotu, zejména v důležitých místech udržovat v rozmezí 0,8-1. Pro zrychlení výpočtu úlohy lze využít symetrie geometrie a zatížení. Konečno-prvkový model je zobrazen na obr. 35



Obr. 35 Konečno-prvkový model

Tvorba výpočtového modelu byla na základě CAD geometrie. V tomto případě byly použity pouze tři tělesa z původní geometrie. Břit a vzorek byly modelovány jako pružná tělesa s možností deformace. Zbylá část kyvadla působící na břit, byla nahrazena tuhým tělesem, jemuž byla upravena hmotnost tak, aby odpovídala chybějící hmotnosti. Toto tuhé těleso působilo rovnoměrně na zadní část břitu. Podložky, na nichž je vzorek položen jsou definovány jako tuhá tělesa. Kontakt mezi tělesy navzájem byl definován jako kontakt, u kterého se projeví tření mezi jednotlivými plochami. Koeficient tření byl zvolen 0,1. Jedná se o koeficient tření mezi polyethylenem a ocelí.

Fyzikální a mechanické vlastnosti materiálů součástí, použité ve výpočtu jsou uvedeny v tabulce 6. Pro břit byl zvolen lineárně elastický materiál, protože u něj není předpokládáno, že dojde k překročení meze kluzu. Vzorek byl modelován materiálovým modelem, který umožňuje simulovat porušení a prasknutí vzorku.

Fyzikální a mechanické vlastnosti použitých materiálů

SOUČÁST	E [GPa]	μ [-]	ρ [kg/m ³]	σ_y [MPa]	MATERIÁLOVÝ MODEL	NÁZEV MATERIÁLU
BŘIT	200	0,3	7850	/	Lineární isotropní elastický	Ocel 19 321
VZOREK	1,1	0,42	950	40	Lineární isotropní elastický + bilineární isotropní se zpevněním (tečný modulus 10 ⁵ Pa)	Polyethylen

Tab. 6 Fyzikální a mechanické vlastnosti použitých materiálu

Kde: $E = \text{modul pružnosti [GPa]}$

$\mu = \text{poisonovo číslo [-]}$

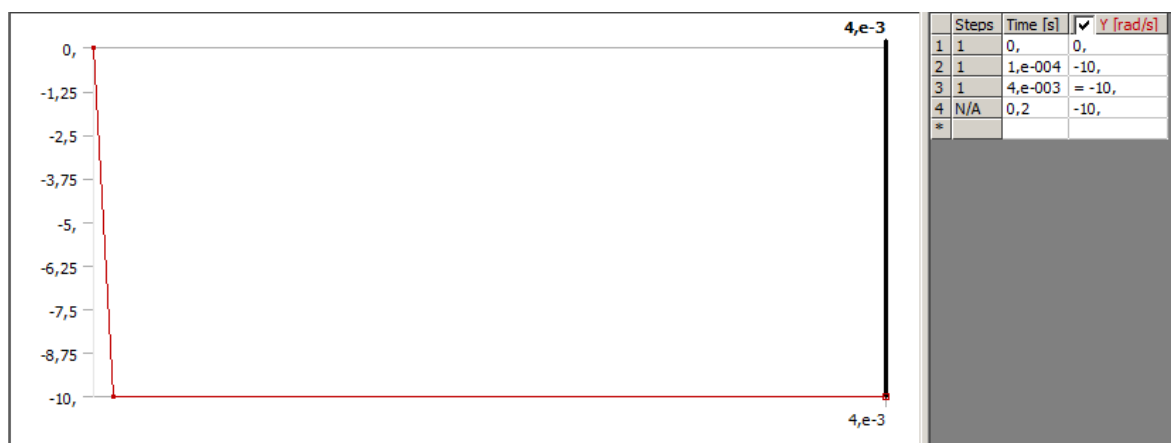
$\rho = \text{hustota [kg/m}^3\text{]}$

$\sigma_y = \text{mez kluzu [MPa]}$

5.2 Výpočet nárazu břitu do vzorku

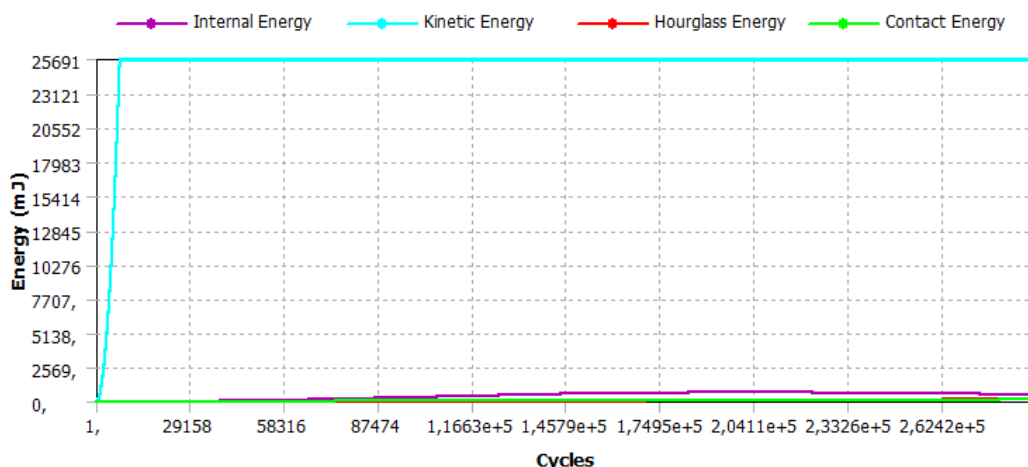
Břit se pohybuje úhlovou rychlostí ω , okolo osy rotace, která představuje závěs kladiva. Zadaná úhlová rychlost je zobrazena na obr. 36. V okamžiku nárazu má břit rychlost $v=3,8\text{m/s}$. Břit narazí do vzorku v okamžiku, kdy je jeho kinetická energie rovna:

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 6,92 \cdot 3,8^2 = 50[J] \quad (5.63)$$



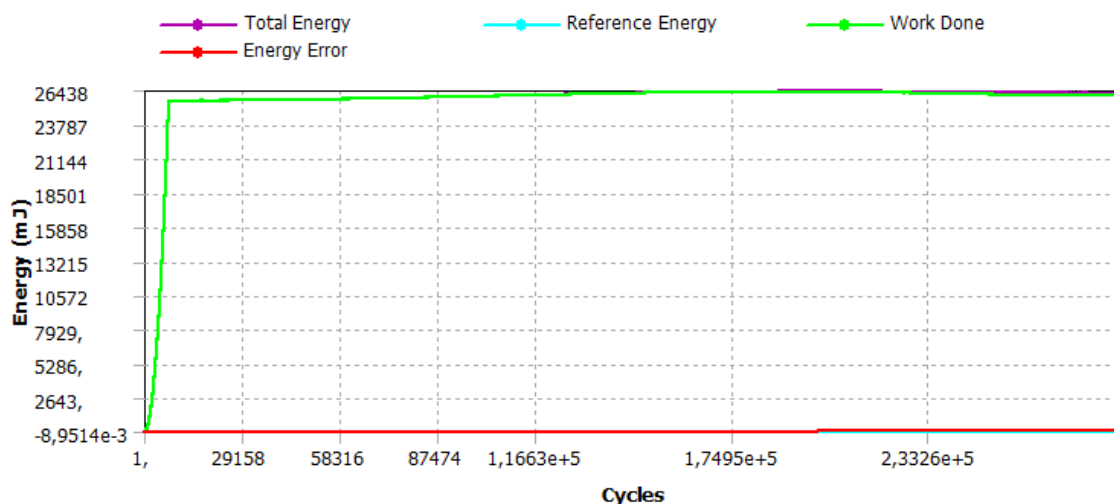
Obr. 36 Úhlová rychlost břitu

Tato skutečnost je ověřena analýzou. Na obr. 37 je možno sledovat hodnotu kinetické energie soustavy. Ve chvíli nárazu má hodnotu 25 [J], což při symetrické úloze s jednou rovinou symetrie znamená $E_k = 50$ [J] pro celou soustavu. Definice interakce mezi kontaktními plochami těles umožňuje posuv obou ploch s uvažováním tření.



Obr. 37 Hodnota kinetické energie soustavy v okamžiku nárazu

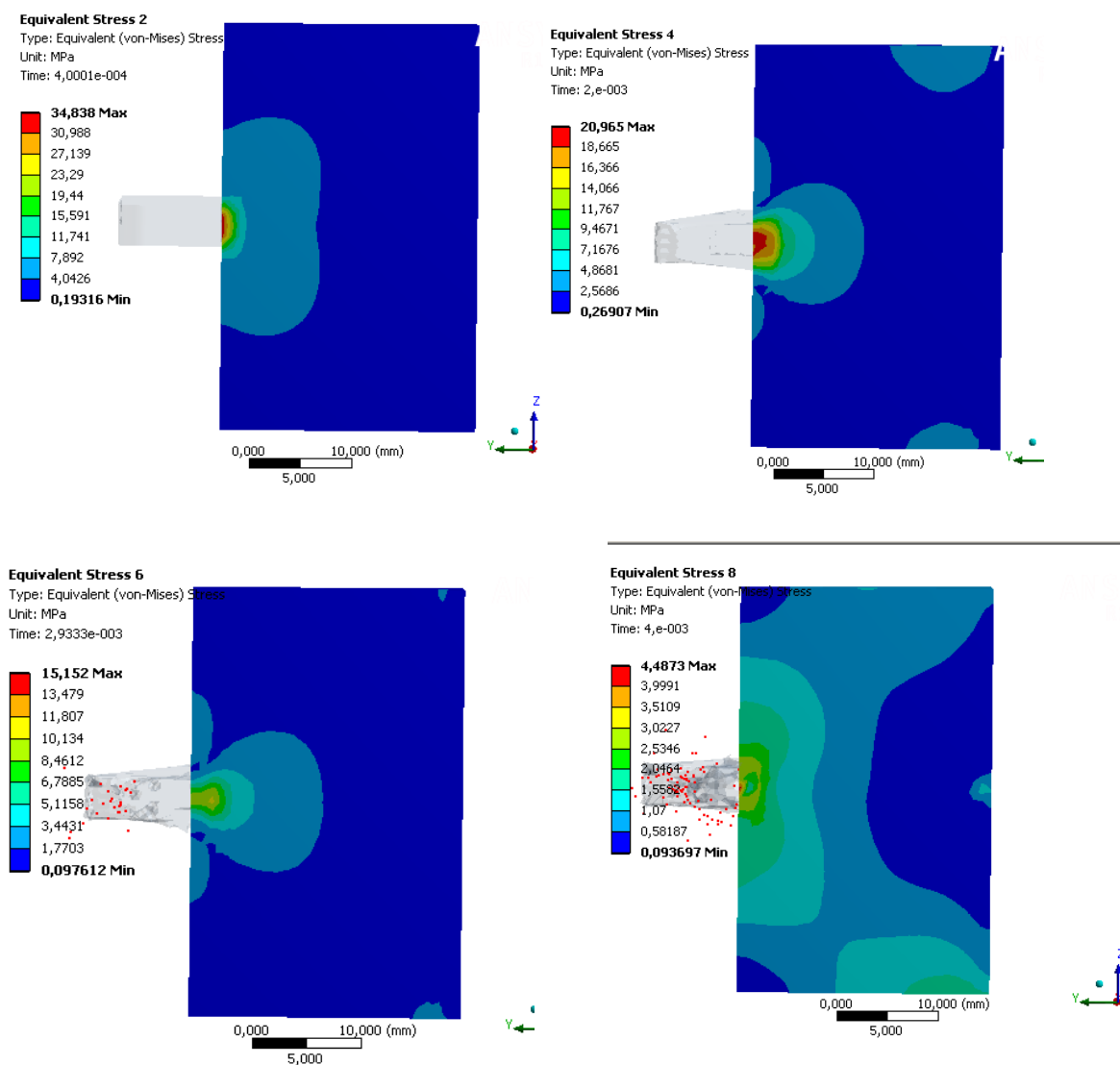
Při výpočtu je třeba hlídat energetickou chybu soustavy. Její hodnota nesmí překročit 5 % celkové energie soustavy. Výpis konvergence úlohy je zobrazen na obr. 38. Úloha trvala 0,04 [s]. Za tuto dobu došlo k přeražení vzorku.



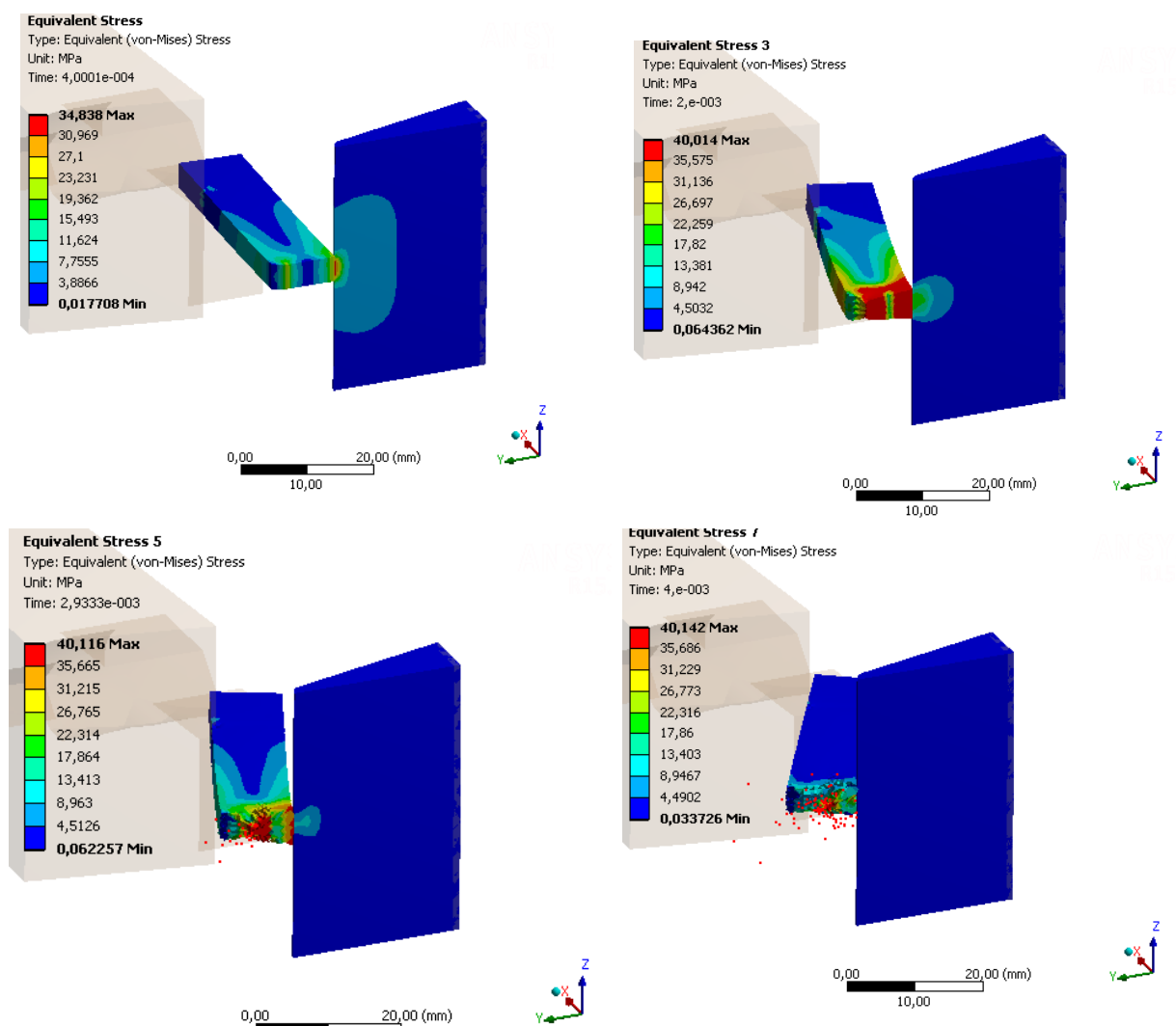
Obr. 38 Výpis konvergence úlohy

5.3 Výsledek MKP analýzy

Náraz břitu do vzorku se projeví zvýšením napětí na břitu. Průběh redukovaného napětí dle teorie HMM je zobrazen na obr. 39. Jeho hodnota nepřekročila velikost 35 [MPa], což potvrdilo předpoklad, že nedojde k překročení meze kluzu materiálu břitu. Průběh přeražení vzorku je zobrazen na obr. 40.



Obr. 39 Redukované napět dle teorie HMM na břitu



Obr. 40 Redukované napětí dle teorie HMH celé soustavy

6. Způsob vyjmutí vzorku po zkoušce

Jakmile dojde k přeražení vzorku během zkoušky, vzorek je plechovým tunelem naváděn na pás pásové dopravníku, který jej poté přesune do nádoby odběrného místa.

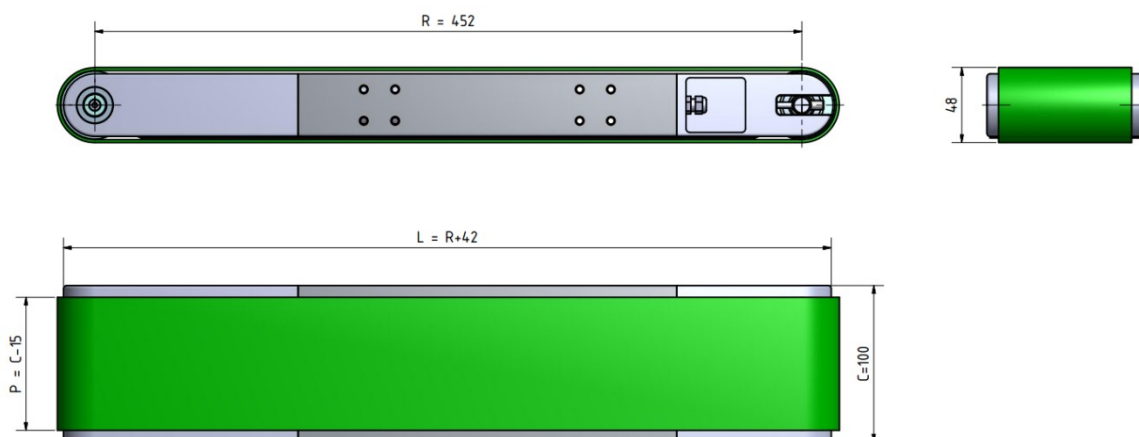
6.1 Pásový dopravník

Pásový dopravník je vyspecifikován jako kompaktní zařízení, které je tvořeno rámem z hliníkových drážkovaných profilů stavebnicového systému, hnací a hnaný buben jsou ocelové konstrukce s možností dopnutí transportního pásu. Pohon tvoří elektromotor 24 V DC a planetové převodovky. Celý pohon je integrován uvnitř dopravníku.

Rychlost pásu je regulovatelná pomocí zdroje a to změnou napětí. Díky tomuto konstrukčnímu řešení dopravníku jej bylo možné zakomponovat do pracovního prostoru Charpyho kladiva, dopravník je dodáván „na míru“, tedy dle potřeby zákazníka. [11]

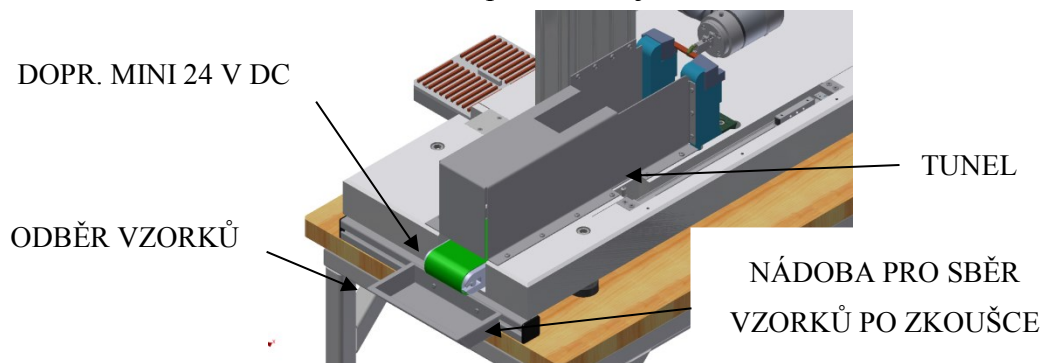
Parametry zvoleného dopravníku MINI 24 V:

- Osová vzdálenost bubnů $R = 452$ [mm]
- Šířka rámu $C = 100$ [mm]
- Zatížení dopravníku $= 5[\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}]$
- Pohon 24 V DC
- Rychlost pásu $0,2-18 [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$
- Materiál transportního pásu PVC
- Provozní teplota $10-80 [^{\circ}\text{C}]$
- Průměr bubnů $= 44$ [mm] [11]



Obr. 41 Rozměry pásového dopravníku MINI 24V DC

Konstrukční řešení odebrání vzorku po zkoušce je znázorněno na obr. 42.



Obr. 42 Odebrání vzorku po zkoušce

Charpyho kladivo je možno obsluhovat plně automaticky a to zakládáním vzorků robotickou paží, ale je také možnost zakládání vzorků a ovládání stroje manuálně operátorem.

K tomuto účelu jsou v přední části krytu instalovány zakládací dvířka, které jsou poháněny přímočarým pneumatickým pohonem DGC – K, který dodává firma FESTO, s.r.o.

6.2 Pohon dvířek

Tento pohon je zatížen pouze samotnou váhou dvířek, jež jsou tvořeny stavebnicovým hliníkovým profilem, a proto specifikace motoru dle katalogu není náročná.

Na pohon působí dle obr. 43 pouze síla F_{Z1} .

Max. $F_Z = 120$ [N]

Působící síla od dvířek: $F_{Z_{skut.}} = m_{dvířek} \cdot g = 1,82 \cdot 9,81 = 17,9$ [N] (6.64)

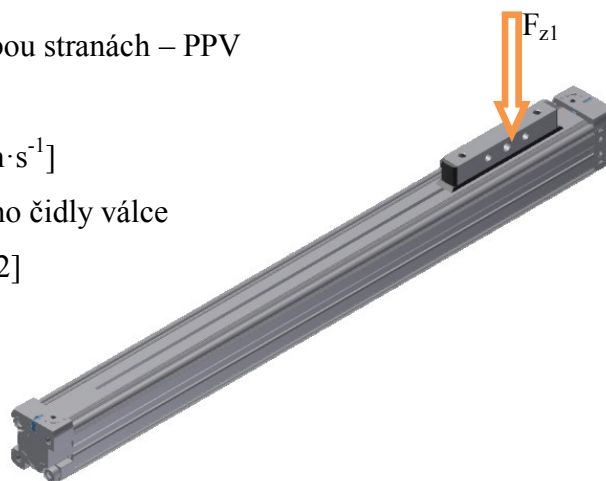
Kde: $F_{Z1} = \text{maximální přípustná síla v ose „Z”}$; $F_{Z1} = 120$ [N]

$F_{Z_{skut.}} = \text{síla v ose „Z” působící od dvířek}$; $F_{Z_{skut.}} = 17,9$ [N]

$m_{dvířek} = \text{hmotnost sestavy dvířek}$; $m_{dvířek} = 1,82$ [kg]

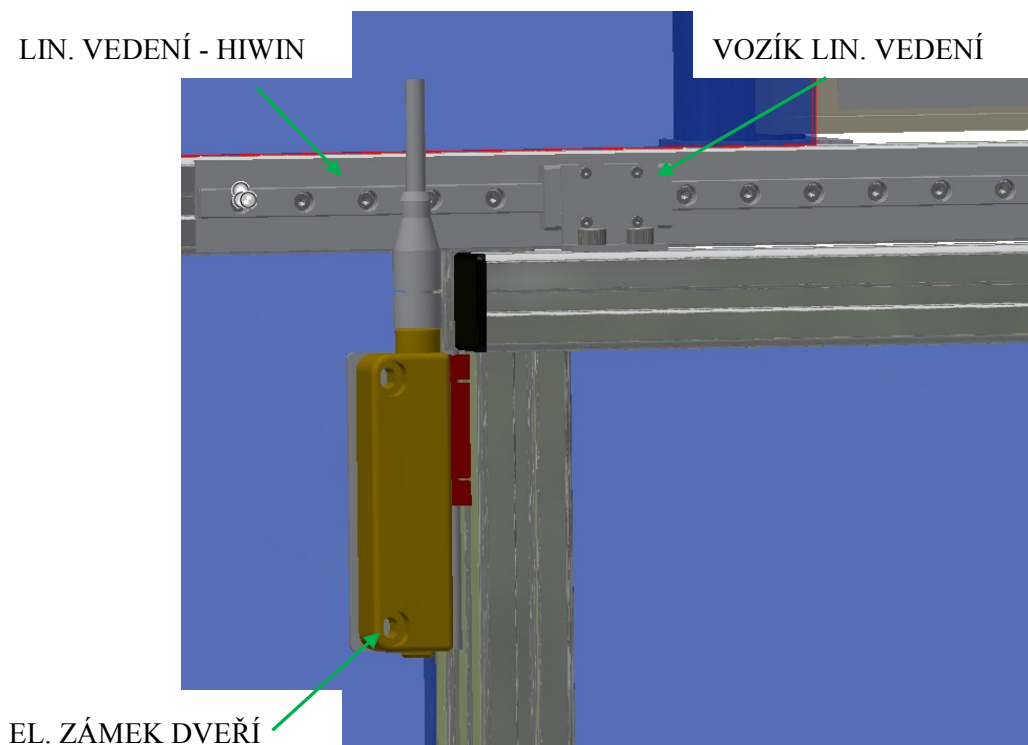
Parametry zvoleného pohonu:

- Průměr pístu = 18 [mm]
- Způsob vedení – trubka válce s drážkou
- Způsob činnosti – dvojčinný
- Zdvih – 300 [mm]
- Nastavitelné tlumení na obou stranách – PPV
- Délka tlumení – 16 [mm]
- Maximální rychlost = 2 [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
- Snímání poloh je provedeno čidly válce
- Provozní tlak = 4 [bar] [12]



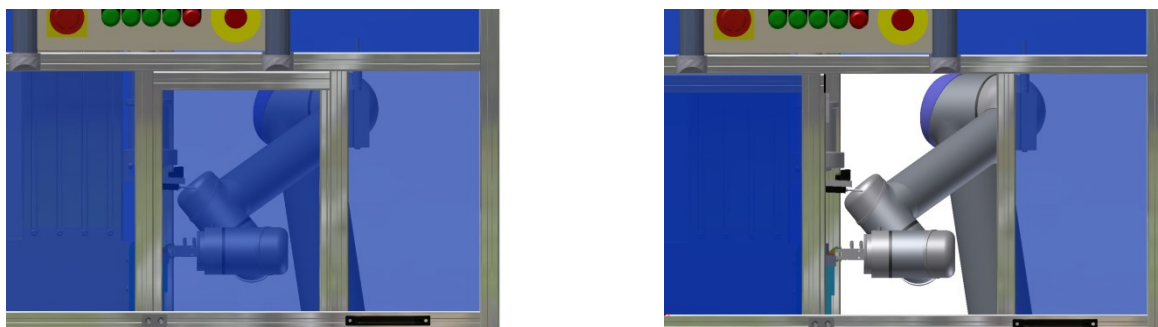
Obr. 43 Přímocharý pneumatický pohon DGC – K

Dvířka jsou ve své spodní části vedeny přímočarým pohonem a v horní části lineárním vedením firmy HIWIN, s.r.o., které zaručuje přesný a spolehlivý chod. Viz. obr.44.



Obr. 44 Lineární vedení + el. zámek dveří

Na obr. 45 je znázorněn pohled zavřených a otevřených dvířek

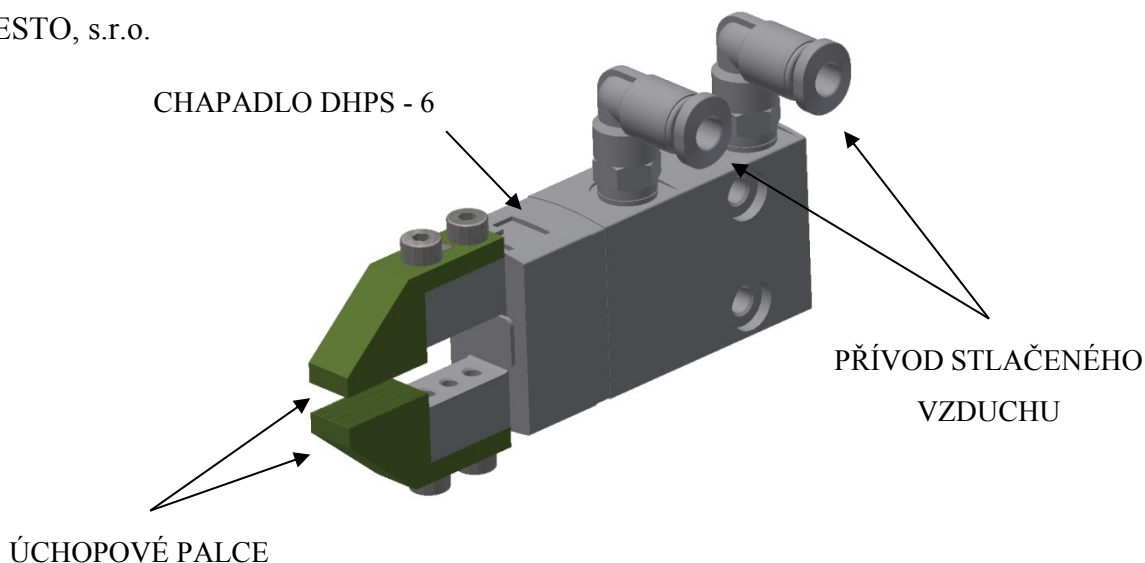


Obr. 45 Zavřené a otevřené dvířka

Dveře jsou opatřeny bezkontaktním elektronickým snímačem (Safety Switch 8, 24V DC), který zároveň slouží jako zámek dveří a pojištění oproti otevření či nesprávné manipulaci. Snímač používá bezkontaktní snímání poloh. Funkce snímače je umožněna kódovaným elektronickým systémem, který využívá technologii RFID. Čip je téměř zcela ukrytý v drážce profilu. [13]

6.3 Úchop vzorků

Robot je dodáván bez čelistí, a proto je nutné specifikovat čelisti z katalogu výrobce. Pro tuto aplikaci jsem zvolil čelisti neboli paralelní chapadla ovládané pneumaticky od firmy FESTO, s.r.o.



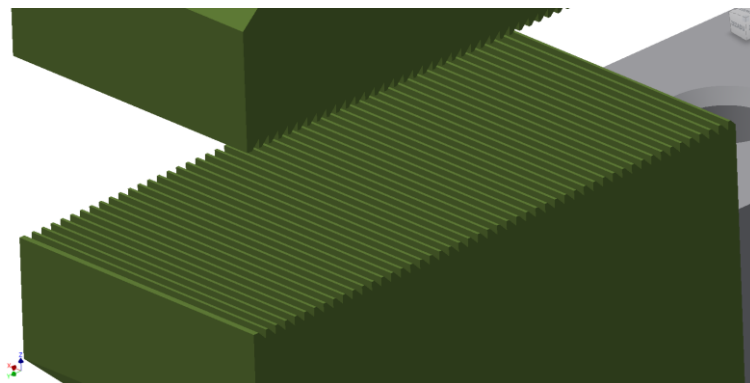
Obr. 46 Chapadlo DHPS - 6

Parametry chapadla DHPS – 6:

- Způsob činnosti – dvojčinný
- Funkce úchopu - paralelní
- Vedení – kluzné
- Počet čelistí – 2
- Zdvih každé čelisti 2 [mm]
- Připojení pneumatiky pomocí M3
- Přesnost chapadla - $\leq 0,02$ [mm]
- Max. pracovní frekvence – 4 [Hz] [Festo katalog plocha]
- Snímání poloh je provedeno pomocí snímače polohy
- Maximální provozní tlak – 2 [bar]
- Síla úchopu každé čelisti – rozevření = 15 [N]
– sevření = 13,5 [N]

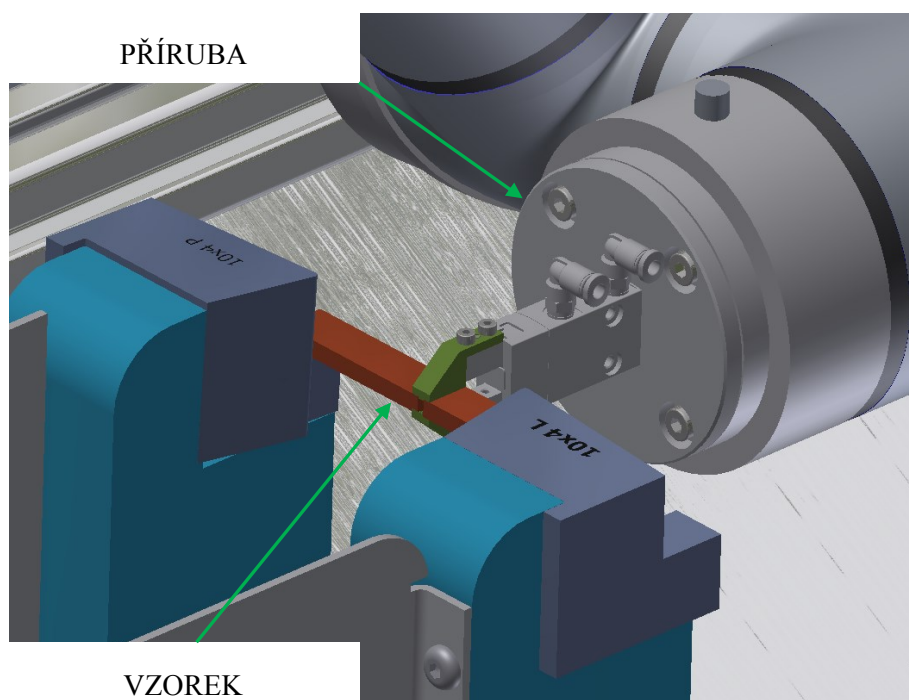
Čelist dokáže pracovat s předmětem až o hmotnosti 1 [kg], tím pádem je plně použitelná pro transport vzorku jehož váha činí (0,004 [kg]).

Jelikož chapadlo je dodáváno bez čelisti, je nutné navrhnout přídavné úchopové palce, na kterých jsem pro zvýšení přesnosti úchopu provedl drážkování, viz. obr. 47 [14]



Obr. 47 Detail drážkování úchopových palců

Chapadlo DHPS – 6 je k robotické paži připevněno přes přírubu a stlačený vzduch je nutné vést po těle robotické paže. viz. obr. 48. K připevnění je možné použít SK pásy.

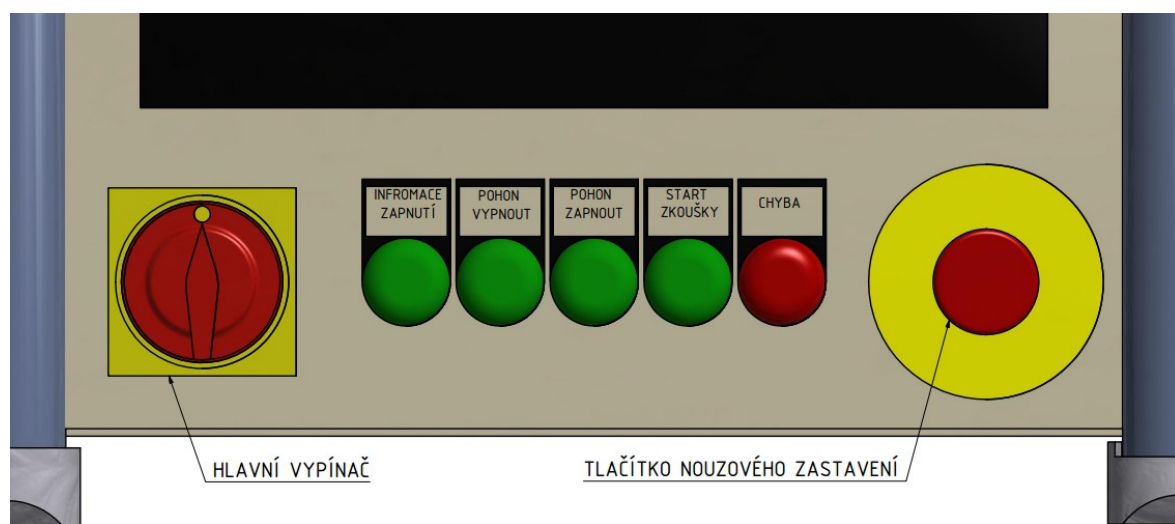


Obr. 48 Detail úchopu vzorku

7. Ovládání stroje a jeho bezpečné používání

7.1 Ovládací panel stroje

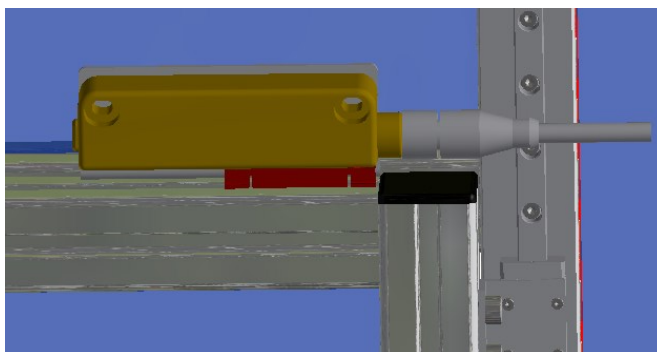
K ovládání Charpyho kladiva je určen panel s tlačítky, signalizačními kontrolkami a vypínačem. Díky tomuto panelu je zajištěna bezpečnost stroje při testování vzorků. Viz. obr. 49 [15]



Obr. 49 Ovládací panel stroje

7.2 Elektrický zámek dvířek

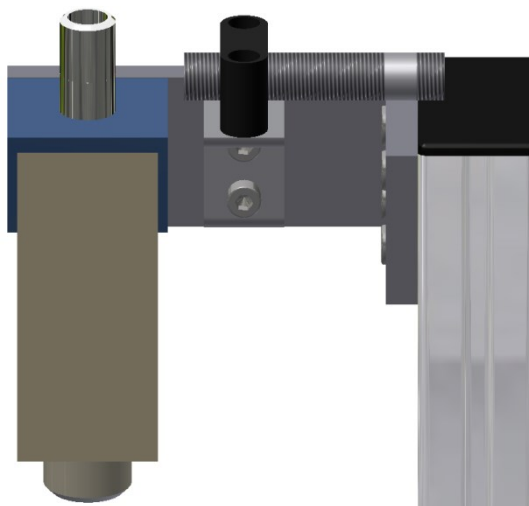
Elektrický zámek dvířek (viz. obr. 50) slouží k zabezpečení vkládacích dvířek během provádění zkoušky. Zámek je přišroubován k rámu ochranného krytu Charpyho kladiva. Díky tomuto zámku je zajištěna poloha dvířek. Dvířka jsou během zkoušky v poloze ZAVŘENO.



Obr. 50 Elektrický zámek dvířek

7.3 Bezpečnostní koncový vypínač elektromagnetu

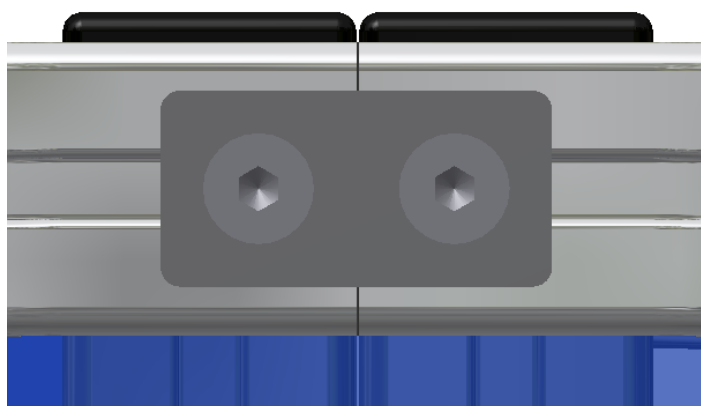
Tento prvek slouží k zabezpečení kyvadla ve výchozí poloze. Viz. obr. 51. Tento prvek je přišroubován k držáku kyvadla. Je nutné, aby bylo zamezeno nesprávné manipulaci s tímto koncovým vypínačem. [15]



Obr. 51 Koncový vypínač elektromagnetu [15]

7.4 Postup při výměně kyvadla a nastavení stroje

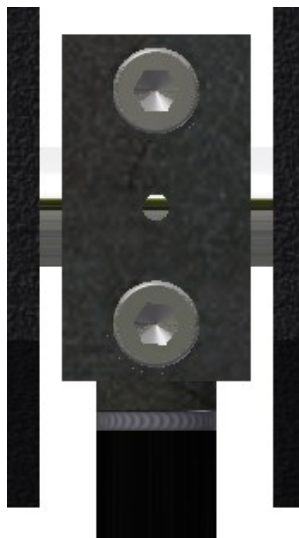
Je nutné zabezpečit stroj pomocí tlačítka central STOP a hlavního vypínače. Poté je nutné demontovat imbusové šrouby krytu a vytočit monitor. Viz. obr. 52.



Obr. 52 Imbusové šrouby pro demontáž krytu Charpyho kladiva

Při výměně kyvadla je nutná zvýšená opatrnost, jelikož uvedení Charpyho kladiva do chodu může mít za následek úraz nebo zranění operátora.

Je zapotřebí demontovat dva imbusové šrouby na kyvadle a vyjmout kyvadlo, viz. obr. 53.



Obr. 53 Demontáž imbusových šroubů na kyvadle

Poté je možno nasadit kyvadlo na hřídel a opět dotáhnout dvěma imbusovými šrouby.

8. Provedení zkoušky

Obsluha stroje (operátor) nejprve označí vzorky v zásobníku tak, aby bylo možné po provedení zkoušky jednotlivé vzorky od sebe oddělit. Označení vzorku je provedeno pomocí nálepek s QR nebo čárovým kódem, který nese informaci o chemickém složení vzorku, popř. další informace.

Po vložení vzorků do zásobníku je možno zahájit automatickou zkoušku. Po přeražení vzorku jsou ihned k dispozici veškeré záznamy zkoušky a její výsledky.

Takto vyzkoušený (přeražený) vzorek je transportován do nádoby odběrného místa. Poté je možno vzorky opět pomocí kódů identifikovat a separovat.

Momentální zásobník vzorků je navržen s kapacitou 26 vzorků. Pokud by bylo zapotřebí delšího času zkoušení, je nutné tento zásobník rozšířit a také zvolit odběrní místo s větším objemem.

9. Závěr

V diplomové práci jsem se zabýval problematikou konstrukce instrumentovaného Charpyho kladiva pro zkoušení plastových vzorků, které by splňovalo všechny funkční parametry a normy, tak aby jej bylo možné použít v laboratořích při zkoušení vrubové houževnatosti.

První část mé práce se zabývá problematikou zkoušení materiálů a historií samotné zkoušky vrubové houževnatosti.

Druhá část je věnovaná samotnému dimenzování Charpyho kladiva. Jsou popsány hlavní konstrukční uzly s jejich konstrukčním návrhem a také je znázorněn postup výpočtu napětí na břitu při rázové zkoušce pomocí metody konečných prvků. Konstrukční návrhy důležitých uzlů se týkají především kyvadel s energií 25 a 50 [J], svěrného spoje kyvadla, návrhu pohonu, spojky, hřídelí a velikosti třetího momentu zvolených kuličkových ložisek.

Poslední část mé diplomové práce se zabývá provozem stroje a bezpečností, která je při používání tohoto typu zařízení velmi důležitá. Nakonec je uveden návod k výměně kyvadel a postup při zahájení samotné zkoušky rázem v ohybu.

10. Seznam použitých pramenů

- [1] Veles, P.: Mechanické vlastnosti a zkoušení kovů. ALFA Bratislava 1995 [cit. 2014-05-11]
- [2] POINT PLEASANT SILVER BRIDGE. In: [online]. 2014 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.rootsweb.ancestry.com/~wvcccfhr/photo/silver%20bridge.htm>
- [3] ING. DRIML, Bohuslav. ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ A JEJICH ZKOUŠENÍ [online]. Olomouc, 2009 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://chemikalie.upol.cz/skripta/mvm/zkousky_mat.pdf
- [4] ČSN EN ISO 179-1. Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy: Část 1: Neinstrumentovaná rázová zkouška. Praha: ÚNMZ, 2010. [cit. 2014-05-11].
- [5] ČSN EN ISO 179-2. Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy: Část 2: Instrumentovaná rázová zkouška. Praha: ÚNMZ, 2012. [cit. 2014-05-11].
- [6] ČSN EN ISO 13802. Plasty: Ověřování zkušebních rázových strojů používajících rázové kyvadlo - Charpy, Izor a rázová houževnatost v tahu. Praha: ČNI, 2006. [cit. 2014-05-11].
- [7] Jareš V.: Základní zkoušky kovů a jejich teorie, Praha 1966 [cit. 2014-05-11].
- [8] EXACTEC, s.r.o. Exactec universal robots. 4 s. Dostupné z: http://www.exactec.com/images/stories/ur6_exactec_web2.pdf [cit. 2014-05-11].
- [9] Arkov: zboží SKF. Arkov, spol. s.r.o. [online]. 2014, č. 1, s. 87 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://zbozi.arkov.cz/dl/311/Treni.pdf.html>
- [10] TransTecno: DC, gearmotors. Transtecno [online]. 2014, č. 1, s. 87 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.transtecno.com/en/products/stock/ECMP/>
- [11] Ulmer - Dopravníkové systémy: Katalog. Dopravníkové systémy: Katalog 2014 [online]. 2014, č. 1 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: http://www.haberkorn.cz/files/file/dopravnikove-systemy/Dopravniky_katalog_web.pdf
- [12] Festo - pneu. pohony: Katalog. FESTO - přímočarý pohon: Katalog 2014 [online]. 2014, č. 1 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: http://xdki.festo.com/xdki/data/doc_CS/PDF/CZ/DGC-K_CZ.PDF
- [13] ITEM: Katalog. ITEM - Safety switch: Katalog 2014 [online]. 2014, č. 1 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: http://www.haberkorn.cz/dyndoc/download/ss-item-novinky_item_II_2013_EN.pdf
- [14] FESTO - Paralelní chapadla: Katalog. FESTO - pneu. chapadla: Katalog 2014 [online]. 2014, č. 1 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: http://xdki.festo.com/xdki/data/doc_CS/PDF/CZ/DHPS_CZ.PDF
- [15] SELOS - Blokovací elektromagnety HEVS: Katalog. SELOS - values with attraction: Katalog 2014 [online]. 2014, č. 1 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.magnety.eu/elektromagnety-hevs/>

Použitý software

- 1) Autodesk Inventor professional 2013
- 2) Ansys Workbench 14.0
- 3) Microsoft Excel
- 4) Microsoft Word

11. Seznam příloh

- 1) Výkres sestavy: Charpyho kladivo – sestava, číslo výkresu KRA – 2014- 00
- 2) Výkres podsestavy: Kyvadlo 50J – číslo výkresu KRA – 2014- 05
- 3) Výrobní výkres: Palice 50J – číslo výkresu KRA – 2014-1
- 3) Vypracování diplomové práce na CD nosiči